

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

KATEDRA TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ



Komplexní hodnocení povrchové struktury textilií

The complex evaluation of textile surface structure

KHT - 080

LIBEREC 2011

Bc. Martina Kmecová

Název diplomové práce: **Komplexní hodnocení povrchové struktury textilií**

Autor: Bc. Martina Kmecová

Obor
magisterského studia: Management jakosti

Forma studia: Prezenční

Školící pracoviště: Katedra textilních materiálů

Vedoucí diplomové práce: Ing. Maroš Tunák, Phd.

Rozsah práce: 115

Počet stran: 125

Počet obrázků: 33

Počet tabulek: 13

Počet příloh: 4

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva .

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

V Liberci dne 21. 12. 2011

.....

Bc. Martina Kmecová

Klíčová slova

Česky:

Povrch

Drsnost

Textilie

Hodnocení povrchové drsnosti

Nerovnost

Bezkontaktní měření

Obrazová analýza

Reliéf

Anglicky:

Surface

Roughness

Textile, fabric

Evaluation of surface roughness

Inequality, disparity

Contactless measurement

Image analysis

Relief

Anotace

Komplexní hodnocení povrchového reliéfu u plošných textilií je jednou z jejich základních charakteristik. Charakterizace povrchové drsnosti se obecně používá pro snadnější hodnocení kvality výrobků i pro vyjádření jejich použitelnosti. Klasické metody měření drsnosti jsou založeny na detekci profilu povrchu, kde jejich analýza je založená na výstupech jednorozměrných dat. U moderní měřicí metody je analýza založena na bázi dvourozměrných dat a měřicí metoda je bezkontaktní. Specifickým přínosem této diplomové práce je porovnání dvou moderních metod a to systému RCM (*Roughness Contactless Measurement*) s přístrojem Talysurf. V obou případech se jedná o bezkontaktní metodu, u RCM se jedná o měření povrchu textilie nasvícením hrany textilie LED diodou a u Talysurfu o měření textilie laserem. Tato práce se zabývá porovnáním výsledků měření standardních parametrů drsnosti z osmi druhů vzorků a následné vyhodnocení v softwaru MatLab.

Annotation

A comprehensive evaluation of the surface relief of textiles is one of their basic characteristics. Characterization of surface roughness is generally used to facilitate the assessment of quality products and to make their application. Conventional methods of measuring surface roughness are based on the detection surface profile where the analysis is based on one-dimensional output data. The modern method of measurement is based on analysis based on two-dimensional data and non-contact measuring method. The specific contribution of this thesis is to compare two modern methods, RCM (*Contactless Roughness Measurement*) device with Talysurf. In both cases it is a noncontact method, but the RCM is the measurement by fabric edge LED illumination and in the case of Talysurf is the measurement taken by the laser. This work deals with comparing the results of standard measurements of roughness parameters of the eight types of samples and subsequent analysis in the MATLAB software.

Seznam použitých symbolů a zkratek

$2D$	dvoudimenzionální rozměr plochy
$3D$	třidimenzionální rozměr prostoru
$A(f)$	amplituda
ADA	(<i>Asphere Diffractive Analysis</i>) - Asférická difrakční analýza
ADF	(<i>Aspheric Data Fusion</i>) - Asférická fúze dat
bmp	Windows bitmap
cm	centimetr
Co	(<i>Cotton</i>) - bavlna
CCL	(<i>Coherence Correlation Interferometry technique</i>) – soudržnost korelace techniky interferometrie
$ČSN EN ISO$	harmonizované Evropské normy
DFT	(<i>Discrete Fourier Transform</i>) - diskrétní Fourierova transformace
d_i	množina ekvidistantních bodů souřadnice ve směru posuvu měřícího hrotu
DRF	transformovaný komplexní vektor
ds	diferenciál dráhy
dt	diferenciál času
$f[Hz]$	frekvence
$F(d_i)$	proměnlivost síly při snímání <i>SFV</i> textilního vzorku
FFT	(<i>Fast Fourier Transform</i>) - rychlá Fourierova transformace
$I[A]$	elektrický proud
IS	interval spolehlivosti
j	imaginární jednotka
KES	(<i>Kawabata Evaluation System</i>) - Kawabatův systém hodnocení
$KES - F$	(<i>Kawabata Evaluation System for fabric</i>) - Kawabatův systém hodnocení pro textil
$KTM TUL$	Katedra textilních materiálů Technické univerzity v Liberci
l	jednotka délky
LCD	(<i>Liquid Crystal Display</i>) - technologie tekutých krystalů
\log	logaritmus
m	označení střední čáry profilu

<i>mm</i>	milimetr
<i>MAD</i>	(<i>Mean Absolute Deviation</i>) - střední absolutní odchylka
<i>MP</i>	průmerná výška vrcholů profilu
<i>MV</i>	průmerná hloubka prohlubní profilu
<i>OEM</i>	(<i>Original Equipment Manufacture</i>) - výroba původního zařízení
<i>P[W]</i>	výkon elektrického proudu
<i>PC</i>	(<i>Personal Computer</i>) - osobní počítač
<i>PSD</i>	(<i>Power Spectral Density</i>) - spektrální výkonová hustota
<i>R(di),y</i>	souřadnice výšky povrchu (proměnlivosti tloušťky) textilie
<i>RCM</i>	(<i>Roughness Contactless Measurement</i>) - měření drsnosti bezkontaktní metodou
<i>RGB</i>	systém RGB (<i>Red, Green, Blue</i>), aditivní míchaní barev
<i>SD</i>	(<i>Standard Deviation</i>) - směrodatná odchylka
<i>SFV</i>	(<i>Surface Force Variation</i>) - variace síly povrchu
<i>SHV</i>	(<i>Surface Height Variation</i>) - variace výšky povrchu
<i>SMD</i>	směrodatná odchylka geometrické drsnosti
<i>SIS</i>	(<i>Silhouette Image System</i>) - obrazový systém siluety
<i>THV</i>	(<i>Total Hand Value</i>) - celková hodnota omaku
<i>TUL</i>	Technická univerzita v Liberci
<i>U[V]</i>	elektrické napětí
<i>X(f)</i>	Fourierova transformace signálu
<i>x(t)</i>	inverzní Fourierova transformace
<i>x,d</i>	symbol označení časové oblasti signálu
<i>Θ[f]</i>	fázový posun
<i>π</i>	Ludolfovo číslo (3,1415...)

Pod'akovanie

Chcela by som pod'akovať predovšetkým môjmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Marošovi Tunákovi, Phd., ktorý ma usmerňoval po celú dobu diplomovej práce a mal so mnou trpezlivosť, ďalej chcem pod'akovať pomoc Ing. Salačovej, ktorá dohliadala na správne merania u prístroja RCM.

Nemôžem opomenúť ani mojich blízkých a priateľov za prejavenu podporu.

Obsah

1. ÚVOD	10
2. PREHĽAD SÚČASNEJ PROBLEMATIKY	11
2.1 KES - Kawabata Evaluation System	14
2.2 RCM – Roughness Contactless Measurement	17
2.3 Talysurf	19
3. VŠEOBECNÁ DEFINÍCIA TEXTILNÉHO POVRCHU	22
3.1 Metódy hodnotenia drsnosti povrchu textílií	22
3.1.1 Subjektívna metóda	23
3.1.2 Objektívna metóda	23
4. ŠTANDARDNÉ PARAMETRE DRSNOSTI POVRCHU	24
4.1 Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu	28
4.1.1 Nenormalizované charakteristiky drsnosti povrchu	31
4.2 Povrchová drsnosť textilných materiálov	34
4.2.1 Charakteristika premenlivosti dráhy povrchu textílie – <i>SHV</i> a <i>SFV</i>	34
4.2.2 Hodnotenie profilu povrchu textílie	35
4.3 Spektrálna analýza	35
5. EXPERIMENT	38
6. VZORKY	39
6.1 Popis vzoriek meraných tkanín	39
6.2 Spracovanie výsledkov merania	41
6.2.1 Meranie systémom RCM	41
6.2.2 Meranie prístrojom Talysurf	42
7. DISKUSIA	99
8. ZÁVER	111
Zoznam príloh	115

1. ÚVOD

Medzi základné charakteristiky vlastností textílií patrí bezpochyby povrchová štruktúra textílií. Je významnou časťou použiteľnosti textílií, povrchová štruktúra a povrchová drsnosť je spojená s komfortom samotného používania, omakom i vzhľadom.

Drsnosť povrchu je súčasťou dôležitých parametrov prevažne v oblasti technických textílií, pretože pôsobenie trecích síl úzko súvisí s povrchovou drsnosťou textílií. Funkčným povrchom sa rozumie povrch ideálne hladký, čo je však v rozpore s praxou aj skutočnosťou. Tieto vlastnosti, ako sú drsnosť textílií a ich trenie, majú nezanedbateľný vplyv na adhéziu či súdržnosť k ostatným materiálom. Kvalitatívny význam výsledných mechanických vlastností danej textílie pri výrobe netkaných textílií a textilných kompozitov záleží i od tvaru povrchu, čo je veľmi dôležité. Od členitosti povrchu textílie sa totiž odvíjajú i ďalšie vlastnosti, ako napríklad absorpcia svetla alebo odraz svetla. Technológia výroby textilných materiálov má vplyv na samotnú drsnosť textílií. U tkanín je povrchová drsnosť ovplyvnená ich väzbou a smerom polohy vlasu na povrchu, pretože pohyb meracieho snímača vykazuje rozdielne hodnoty pri meraní vlasu v smere a v protismere polohy vlasu. Drsnosť sa tiež mení v závislosti na používaní a samotnej údržbe danej textílie, vplyv na textíliu má i druh finálnych úprav ako napríklad žehlenie. Podrobné znalosti problematiky kvality povrchu a jeho hodnotenia má veľký význam v tom, že to vedie k sprísneniu požiadaviek na funkčné plochy pri ich vlastnom konštruovaní, a prispievajú k stanoveniu technologických parametrov pri výrobe, ako aj u ďalšieho hodnotenia textúry povrchu pri laboratórnych skúškach, pri výzume a u ďalšieho využitia. Rýchly pokrok a schopnosť technológie výroby s meraním kvality plôch vedú stále k tomu, že definovať stále nové požiadavky na tieto plochy je nutnosťou. Preto pre náročné požiadavky spoľahlivosti táto presná a jasná špecifikácia textúry povrchu má stále väčší význam.

Predmetom tejto diplomovej práce je porovnať výsledky meraní bezkontaktných prístrojov na meranie povrchu drsnosti textílií medzi sebou. Výsledky meraní sa budú porovnávať na základe normovaných charakteristík. Diplomová práca je rozdelená na dve časti, v prvej časti sa pojednáva o teórii drsnosti textílií, problematike drsnosti a štruktúry textílií, druhá časť sa venuje praxi a bezkontaktnému snímaniu štruktúry povrchu textílií u dvoch rozličných prístrojov, a to prístroja Talysurf CLI 500 a prístroja RCM.

2. PREHLAD SÚČASNEJ PROBLEMATIKY

Kvalita povrchu, čiže geometria povrchovej vrstvy, ktorá v rade odvetví výrazne ovplyvňuje životnosť materiálu i jeho funkčnosť, sa vyjadruje drsnosťou povrchu. Táto drsnosť povrchu tak isto ovplyvňuje i priebeh fyzikálnych či chemických javov. Povrchová drsnosť v textilných oblastiach patrí medzi primárne zložky omaku. Klasické metódy hodnotenia drsnosti sú založené na definícii reliéfu povrchu textílií. Tieto metódy sa delia na metódy hodnotené subjektívne priamo užívateľom alebo hodnotiteľom, a na metódy hodnotené objektívne pomocou meriacich prístrojov rôznej konštrukcie. Existuje pár hlavných dôvodov pre meranie drsnosti povrchu. Je to kontrola výroby a pomoc pri získaní poznatku, že výrobky sú kvalitné, v prípadoch špeciálnej úpravy ako je žehlenie je to komfortný vzhľad. Vo všeobecnosti platí, že drsnosť povrchu u textílií má dve základné geometrické funkcie a to náhodný aspekt a štrukturálny aspekt. Moderné metódy merania drsnosti povrchu sú založené na spracovávaní obrazu bezkontaktným spôsobom.

Fyzické a mechanické správanie sa textílií je ovplyvnené ich jemnosťou, hladkosťou a tuhosťou. To ovplyvňuje i subjektívny názor na kvalitu danej textílie pri dotyku. Textília, ktorá sa dá ľahko stlačiť je považovaná za jemnejšiu. Textília, ktorá sa ľahšie ohne je považovaná za flexibilnejšiu. V tomto výskume sa autor *Ajayi* [7] venoval viacerým odlišným parametrom trenia zahŕňajúc počet vrcholov, amplitúdy a rozdiely medzi statickou a kinetickou trecou silou. Okrem vplyvu obsahu nite, priadze a textilných štruktúr, látkové trenie je tak isto ovplyvnené experimentálnymi podmienkami. Na merania bol použitý tester ťahu Instron. Porovnávanie výsledkov pre pletené a tkané tkaniny ukazuje lepšiu zhodu počtu vrcholov a textilnú štruktúru pre pletené tkaniny, než pre tkané tkaniny. Trenie tkaniny je ovplyvnené veľkým počtom faktorov. Koeficient trenia je najčastejšie používaný parameter na hodnotenie stupňa hladkosti alebo drsnosti textílie. Aj keď faktory ako počet vrcholov, amplitúda, a trecia sila sú skoro rovnaké, stále tkanina s nižším koeficientom trenia býva väčšinou hladšia. Hladký povrch by sa dal považovať za povrch s hladkým signálom, stopou. Výsledky meraní by sa mali porovnať s ostatnými metódami ako napríklad trenie, bočné prúdenie vzduchu, subjektívne hodnotenie. Povrchové kontúry textílií sú definované ako rozdiel

textilného povrchu od roviny. To je vyjadrené početnosťou vrcholov na jednotku vzdialenosti, amplitúdu - výšku, a štandardnú odchýlku pulzu. *Ajayi* v práci [6] na merania použil valček a trenie stopy textílií a zistil, že najlepší ukazovateľ nerovnosti povrchov je číslo počtu vrcholov meranej textílie a táto početnosť javu negatívne ovplyvňuje hladkosť tkaniny, pretože tkaniny obsahujúce viac vrcholov sú zvyčajne hladšie na omak ako tie s pár vrcholmi.

Autori práce [4] z Polytechnickej univerzity v Hongkongu pojednávajú o digitálnom zobrazení siluetovej analýzy obrazu na vizualizáciu trojrozmerného povrchu tkaniny alebo iného flexibilného materiálu. Táto metóda sa dá použiť na charakterizáciu drsnosti povrchu u textílií a na vzhľad hodnotenia u nízkej farebnej citlivosti porovnávané s ostatnými zobrazujúcimi metódami. Koncept prezentuje nový pohľad na viacvrstvovú analýzu textilného materiálu. Zaostruje sa na nastavovanie, princípy a metodiku vizualizácie drsnosti povrchu. V textilnom priemysle je dôležité hodnotenie kvality vzhľadu tejto tkaniny, vrátane povrchovej drsnosti, zvrásnenia povrchu alebo vznikajúcich žmolkov. Profil povrchu patrí medzi hlavné faktory hodnotenia tejto kvality. Na zistenie presného profilu povrchu sa používa viacero metód. Nanešťastie najviac týchto metód je založených na dvojrozmernom snímaní obrazu, ktoré je citlivé na zmenu farby a vzoru. Nemôže rozlíšiť pixely s nízkou intenzitou zapríčinenou tieňom z pixelov s tmavou farbou, to znamená, že je problém so spracovaním obrazu u viacfarebných a viacvzorových textílií. Niektoré trojrozmerné a optické metódy boli aplikované na digitalizáciu povrchu textilu. Systém siluety obrazu (*Silhouette Image System* - SIS) môže byť použitý na charakteristiku všetkých parametrov trojrozmerného profilu textilu. Dá sa použiť na meranie hrubosti a na meranie drsnosti povrchu pre potvrdenie efektivity.

Systém Kawabatovho hodnotenia (*Kawabata Evaluation System* - KES) tiež poskytuje objektívnu cestu merania, avšak jeho princípy sú založené na kontaktnom meraní, kde používa sondu priloženú na povrch textilu a nahráva pohyby sondy. V spomínanej práci [4] sa porovnávajú metódy KES s metódou SIS. Metóda SIS dovoľuje charakterizáciu drsnosti povrchu bez informácie pre farbu, a tak sa vyhýba rušivosti tieňa a tmavej farby. Tento bezkontaktný merajúci systém ukazuje na efektívnu cestu pre charakteristiku drsnosti povrchu textílie a iných poddajných materiálov. Výhody tejto viacvrstvovej analýzy textilného materiálu sú jednoduchosť, rýchlosť a nízke náklady.

Jedným z kľúčových parametrov kvality textilnej výroby je zmena hrúbky textílie, ktorá je dôležitá ako textilná bariéra pred poveternostnými podmienkami ako je chlad a vietor, ale i dôležitá pri priemyselných textíliách. Hrúbka textílie je merateľná analýzou hrúbky profilu. Hrúbka, alebo výška profilu textílie je dôležitý parameter drsnosti povrchu, moderné metódy sú založené na spracovaní obrazu profilu textilného povrchu. Štandardné metódy hodnotenia profilu povrchu sú založené na relatívnej variabilite charakterizovanej variačným koeficientom (analógia s hodnotením priadzi hmotnej nerovnomernosti) alebo jednoducho štandardnou odchýlkou [9]. Tento prístup sa používa v Shirley software pre vyhodnotenie výsledkov v krokovom hrúbkometri. Táto práca je venovaná analýze variácie hrúbky $R(d)$ získanej z Shirley krokového hrúbkometra. Kombinácia spektrálnej analýzy a fraktálneho odhadu dimenzie sa používa na hodnotenie drsnosti povrchu bariéry textilného povrchu s rôznymi štruktúrami. Výber vhodného prístupu pre dané analýzy nie je ľahkou úlohou vzhľadom k profilu povrchu. Matematické pozadie podkladových procesov nie je známe. Na povrchu profilov sa objavujú poškodené miesta a profily sa skladajú z konečných počtov hodnôt vzoriek. Mnoho týchto profilov povrchu má však dostatočne presné zaznamenanie a podobné vlastnosti na zovšeobecnenie do štandardných postupov. Daný profil povrchu sa dá vyriešiť vhodnou analýzou reálnych dát. Charakterizovať komplexné profily povrchu sa dá charakterizáciou hrúbky variácie kombináciou variogramu a fraktálnych rozmerov. Použitie variogramu a spektrálnej výkonovej hustoty pre hodnotenie fraktálneho rozmeru a charakterizácie periodickej kolísavosti hrúbky vo väzbe sa ukázalo vhodné pre hlbšie skúmanie výsledkov. Vlastnosti môžu byť použité pre hlbšie skúmanie výsledkov v Shirley software v krokovom hrúbkometri a pre presnejšiu analýzu by sa mali údaje lepšie filtrovať.

Prístroj na objektívne meranie povrchu textílie bezkontaktnou metódou sa skladá s lúča, lasera, ktorý meria vzdialenosť medzi sebou samotným a objektom. Laser používa vymeriavacie techniky a nameraná vzdialenosť sa ukladá do pamäte. Experiment autorov *Ramgulama, Amirbayata a Porata* [8] poukazuje na to, že laserový senzor môže byť úspešne používaný na meranie geometrickej drsnosti povrchu textílií. Od hmatového vyšetrenia drsnosti povrchu zahŕňajúceho určitý stupeň použitého tlaku môžu nastať pochybnosti, že kontaktné metódy dávajú hodnoty bližšie k vnímanej drsnosti textílie, a preto sa môže zdať viac použiteľná kontaktná metóda. V takýchto prípadoch sa vždy môže prikryť skúmaná vzorka látky kusom čistého skla a tým

aplikovať potrebný tlak na merania. Výsledky experimentu uvádzajú, že laserový lúč prístroja prechádzajúci cez čisté sklo má zanedbateľný vplyv na výsledky zameriavania objektu.

V článku autorov *Buena, Duranda a Rennera* [15] je prezentovaný nový optický viacsmerový prístroj na meranie drsnosti povrchu. Princíp prístroja spočíva v lúči z laserovej diódy, ktorý skenuje povrch textílie a signál sa odráža. Odrazený lúč poskytuje informácie o stave povrchu. Vypočítané spektrum ukazuje na vrcholy, ktoré zodpovedajú štruktúre. Vzhľadom k látke sa tu vyskytujú dva mechanické procesy, a to brúsenie a prečesávanie. Prvý proces, brúsenie, je mechanický dokončovací proces, pri ktorom sa na tkanine objavuje jav pripomínajúci broskyňu, vyskytujú sa jemné chlčky a väčšinou na vlnených vláknach. Druhý jav, prečesávanie alebo zvyšovanie je tiež mechanický dokončovací proces, pri ktorom sa tkanina kefuje drôtni pokrytými valčekami. To ovplyvňuje periférne vlákna a tak vzniká napr. Polar fleece. Nový povrch tkaniny je na omak hrubší, a tak skrýva štruktúru tkaniny. Dĺžka vlasu pri zvyšovaní je vyššia ako pri brúsení. Dva procesy, brúsenie a prečesávanie udeľujú zvláštne ochlpenie na povrchu textílie. Týmto zhromaždením sa zvyšuje sila absorpcie svetla u tkaniny. Maximálna výška klesá a preto tieto procesy možno charakterizovať práve pomocou tohto nového optického viacsmerového prístroja. Veľká výhoda tohto vývoja spočíva v jeho bezkontaktnom procese v porovnaní s metódami založenými na kontaktných metódach dotyku s textíliou. V súčasnej dobe hlavná nevýhoda optickej metódy spočíva v citlivosti na farbu tkaniny. Táto metóda je v podstate užitočná pre látky pred farbením alebo tlačou. Ak by mala byť účinná po farbení, citlivosť tejto metódy je potrebné zlepšiť.

2.1 KES - Kawabata Evaluation System

KES je najznámejší a najbežnejšie používaný prístroj navrhnutý profesorom Kawabatou v roku 1980 na meranie objektívneho omaku a drsnosti povrchu textílií (obr.1(a),(b)). Systém KES sa skladá zo štyroch meracích prístrojov. Jednotlivé merania prebiehajú so štandardným zariadením, zodpovedajúce deformácii rovnako ako u kontaktu pokožky s materiálom, ako je to u subjektívneho hodnotenia textílií. Prístroje simulujú namáhanie textílií ako pri bežnom použití. Základ tvorí šesť skupín mechanických vlastností, a to ohybové charakteristiky, šmykové charakteristiky, tlakové

charakteristiky, ťahové charakteristiky, povrchové charakteristiky a objemové charakteristiky. Po zmeraní všetkých zmieňovaných charakteristík sa stanovuje celková, čiže výsledná hodnota omaku, tzv. THV (*Total Hand Value*). Princíp merania povrchových charakteristík je založený na získaní profilu povrchu s použitím dotykového snímača, čidla ako hlavnej časti Kawabatovho meriaceho zariadenia. Snímač je tvorený oceľovým drôtom o priemere 0,5 mm a pohybuje sa konštantnou rýchlosťou 1 mm.s^{-1} v meranom úseku dĺžky 20 mm. Profil povrchu (*Surface Height Variation* - SHV) je graficky zaznamenávaný pomocou pripojeného softvéru [1].



(a)



(b)

Obr. 1: KES: časť prístroja (a), (b).

Výhody merania drsnosti povrchu použitím KES

Medzi výhody systému KES patrí priame grafické a číselné štatistické spracovanie výsledkov, konštrukcia systému je vhodná pre bežné odevné materiály a systém je jednoduchý a nenáročný na merania.

Nevýhody merania drsnosti povrchu použitím KES

Systém KES má ako každý prístroj i svoje nevýhody, medzi ne patrí problematika čidla snímajúceho profil, ktoré je príliš citlivé na nerovnosti povrchu a meranie je obmedzené hrúbkou materiálu. Meranie je nevhodné pre extrémne drsné a hrubé materiály [3].

Park a kolektív viedli výskum merania drsnosti povrchu textílií pre odevnú výrobu a maloobchodný sektor pomocou prístroja KES-F (*Kawabata Evaluation System for Fabric* – Kawabatov systém hodnotenia pre textil) [18], tento prístroj však svojim kontaktným spôsobom narušoval presné meranie pre analýzu, tak sa meranie drsnosti povrchu bez deformácie previedlo na bezkontaktnú metódu, kde bol použitý laserový senzor. Laserový senzor mal rozlíšenie 1 μm a presnosť 0,01% . Vzhľadom k tomu, že textílie sú tkané a pletené rôznymi farebnými niťami a majú rozdielnu povrchovú úpravu a chemické ošetrenie, analyzoval sa vplyv farby a lesku s cieľom znížiť optické chyby.

Výsledky drsnosti povrchu rôznych textílií meraných KES-F systémom sa porovnali s hodnotami povrchových vlastností. Dáta sa kontrolovali na počítači v programe MatLab.

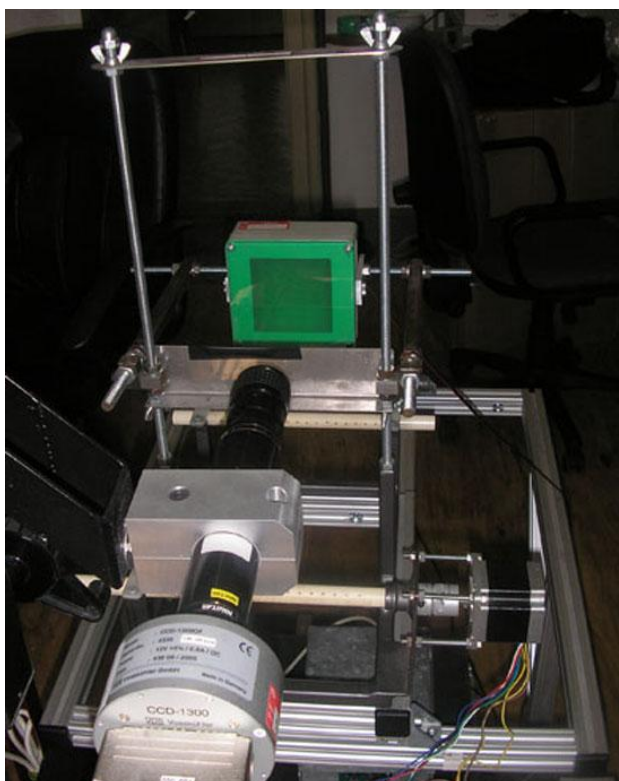
2.2 RCM – Roughness Contactless Measurement

Hlavným cieľom práce autorov *Militkého a Mazala* [5] je popis nového prístroja a prístup k novému hodnoteniu drsnosti povrchu textílií. Systém kontrolovaných pohybov dovoľuje snímať povrch v dvoch dimenziách. Originálny systém RCM (*Roughness Contactless Measurement*), systém bezkontaktného merania drsnosti (obr.2), je vyrobený pre bezkontaktné hodnotenie drsnosti povrchu a meranie spočíva v tom, že meraná textília sa ohne okolo ostrej hrany, pričom svetlo z diódového poľa dopadá zvrchu na ohyb (obr. 3). Výsledky obrazu sa nazývajú plátkami, rezmi, čo je drsnosť profilu na presnej pozícii vzhľadom na smer prístroja. Individuálne rezy profilu prejdú spracovaním obrazu pre RCM v programe *reliefman.m* podľa autora *Bleši* [17] softwaru MatLab, kde výsledok týchto operácií je vektor povrchovej kontúry v priečnom smere. Na základe výberu vhodných charakteristík sa vyhodnotia jednorozmerné dáta virtuálnych priečných rezov reliéfu povrchu i dvojrozmerné dáta povrchových profilov textílií. Priame spojenie rezov je vznik obrazu drsnosti povrchu textílie. Bleša vo svojej dizertačnej práci popisuje návrh konštrukcie a overuje metódy merania, ktoré je vhodné pre bezkontaktné vyhodnocovanie povrchového reliéfu textílií včetně vypracovania metodiky daného merania. Popis textúry povrchu doplnil i o náhradu kriviek opisujúcich rozhranie virtuálnych priečných rezov textilnej vzorky Fourierovou radou, meral i vzorky textilu pred a po žehlení. Bezdotykové merania drsnosti textílií použitím RCM je užitočné pre popis drsnosti povrchu v samostatných rezoch a i v celej ploche. Prístroj RCM sa dá použiť i na ostatné textilné povrchy, ktoré sú rovinného útvaru ako napríklad na zisťovanie žmolkovitosti, chlpatenia alebo oderu danej textílie.

Autori *Militký a Bleša* [19] vo svojej práci popisujú použitie prístroja RCM na skúmanie vplyvu vzorovanej látky, presnejšie vzorovaného kordu na drsnosť textílie. Na výpočty bol použitý program v MATLABe, kde sa vypočítali konkrétne spektrálne charakteristiky formou variogramov. Zistilo sa, že prístroj RCM je vhodný i na textílie so vzorom.



Obr. 2: Systém bezkontaktného merania drsnosti.



Obr. 3: Detail diódového poľa systému RCM.

2.3 Talysurf

Firma Taylor-Hobson, ktorá začala vyrábať prístroj Talysurf je svetovo preslávená svojimi presnými meracími prístrojmi používaných na inšpekciu v oblasti výskumu a výrobných zariadení. Toto zariadenie vystupuje na nanometrickej úrovni rozlíšenia a presnosti. Medzi prvé prístroje značky Talysurf sa zaraďujú prístroje s tranzistorovou elektronikou na tlačných spojoch, štandardným vybavením týchto profilometrov bol iba jeden induktívny snímač, ktorý sa dal upraviť prídavným zariadením. Uplatnenie mikroprocesorov a minipočítačov v metroológii spôsobilo obrovský kvalitatívny krok a prevrat v technike merania drsnosti povrchu [1]. Talysurf CLI je najvyšší článok prístrojov rady Talysurf (obr. 4). Je to automatický optický 3D profiler s najvyšším rozlíšením na svete. Skladá sa z oceľovej konštrukcie v zmesi so žulou, čím je zaistená stabilita prístroja, pneumatický antivibračný systém izoluje prístroj od vonkajších vibrácií. Prístroj má jednoduché nastavenia, kde skúmaný objekt (textília) je upevnený na podložku, po zameraní správnej výšky sa stiskne tlačítko štart a prístroj začína laserovým lúčom merať drsnosť povrchu komponentu. Prístroj je kalibrovaný v náväznosti na medzinárodné normy v zvislej aj priečnej osi merania, preto je prístroj veľmi presný [12]. Samotný prístroj Talysurf CLI (*Coherence Correlation Interferometry Technique* – súdržnosť korelácie techniky interferometrie) je napojený na počítač, kde sa výsledky meraní ukladajú do špeciálneho programu Talysurf a Talymap Platinum (obr. 5). Rada prístrojov Talysurf CCI by mala splniť prakticky všetky súčasné metrologické požiadavky na kontrolu povrchu vo výskume, vývoji i výrobe. Prístroje sú v rozmedzí od technicky a cenovo menej náročného prevedenia až po plne automatizované výrobné systémy. Po uvedení na trh pred pár rokmi (Talusurf CCI 3000) bol nedávno patentovaný interferometrický merací systém využitý u štyroch nových prístrojov, pripravených pre široký rozsah metrologických aplikácií. Talysurf CCI predstavuje metrologické prostriedky, ktoré spĺňajú nielen vysoké kvalitatívne nároky súčasnej výroby, ale aj požiadavky ďalšieho výskumu a vývoja. Talysurf CCI 1000 OEM predstavuje mimoriadne výkonný optický prístroj značky Taylor Hobson. Prevedenie OEM (*Original Equipment Manufacture*) označuje konštrukciu spojennej meracej jednotky, ktorá je vhodná pre zabudovanie do automatizovaných výrobných a metrologických celkov podľa potrieb používateľov. Prístroj Talysurf CCI 1000 spája overenú bezdotykovú metódu s dobrou odolnosťou proti chveniu a veľmi jednoduchým riadiacim softvérom. Konštrukcia Talysurf CCI 1000 uľahčuje svojimi malými

rozmermi a celkovou hmotnosťou (do 3,5 kg) začlenenie do zostavy strojov alebo meracích liniek. Prístroj charakterizuje rýchly merací cyklus a možnosť využitia spätnej väzby pre riadenie výrobného cyklu. Programové vybavenie zabezpečuje jednoduché ovládanie a funkčné využitie. Na základe platformy Microsoft bol pripravený súbor programov pre stanovenie všetkých bežných parametrov drsnosti aj meranie prevýšenia a tvaru, s využitím prostriedkov progresívnych filtráciou a komplexného 2D aj 3D grafického hodnotenia. Talysurf CCI 2000 je typové označenie stolového prevedenia výkonného meracieho systému. Prístroj s veľmi priaznivou reláciou medzi funkčnými vlastnosťami a cenou je určený predovšetkým pre meranie vo výskume a v malosériovej výrobe. Technickými parametrami i aplikačným rozsahom je prevedenie CCI 2000 zhodné s predošlým modelom. Talysurf CCI 6000 zabezpečí meranie v rozsahu (Z) 100 mikrometrov (400 mikrometrov opticky). Výrobca udáva hodnotu opakovateľnosti merania výšky 0,1 nm. Talysurf CCI 6000 s širokým rozsahom aplikácií predstavuje najvhodnejšiu konfiguráciu i z hľadiska ďalšej modernizácie systému merania CCI. Talysurf CCI 9000 predstavuje štandardnú plne automatizovanú samostatnú metrologickú jednotku. Prístroj je vybavený stolíkom pre upínanie vzoriek o rozmeroch 300 krát 300 mm. Taylor Hobson pripravil merací prístroj Form Talysurf PGI 1250 s novými programami *Aspheric Data Fusion* (ADF) a *Asphere Diffractive Analysis* (ADA), ktoré umožnia analyzovať aj povrchy s veľkým sklonom, a to v celom rozmedzí priemerov s vysokou presnosťou. Nový program ADF odstraňuje predchádzajúce obmedzenia maximálneho sklonu meraného povrchu, čo zvyšuje kvalitu kontroly veľmi zakrivených povrchov optiky. Program ADA rozširuje možnosti merania a hodnotenia povrchov s difrakčnými vlastnosťami [11].

K systému Talysurf patrí i špeciálny software s názvom Talymap, do ktorého sa jednotlivé merania ukladajú a následne sa v tomto programe spracovávajú cez rôzne úkony, napríklad 3D obrazy, ktoré sa dajú otáčať z rôznych uhlov. V programe sa dá zvoliť rýchlosť snímania ako aj rozmer danej snímanej plochy.

Systém bezkontaktného merania laserom rady Talysurf od firmy Taylor – Hobson je vynikajúcim prínosom pre širokú škálu meraní i v textilnom priemysle a vo výskume, ako aj na školách s textilným zameraním.



Obr. 4: Talysurf CLI.



Obr. 5: Samotný prístroj Talysurf CLI napojený na počítač.

3. VŠEOBECNÁ DEFINÍCIA TEXTILNÉHO POVRCHU

Vzťah medzi funkciou povrchu a kvalitou povrchu danej plochy, ktorá je vytváraná istou technologickou metódou, je možné hodnotiť z dvoch hľadísk. Prvým je priestorové usporiadanie (textúra a morfológia) povrchu, druhým hľadiskom sú fyzikálne a chemické vlastnosti povrchovej vrstvy. Ich ovplyvnenie metódami výroby vo vzťahu k funkcii povrchu sa dá vyjadriť pojmom integrita povrchu. Táto integrita v sebe zahŕňa podmienky, za ktorých tento funkčný povrch vzniká, účinky technologických metód a ich vplyv na vlastnosti novovytvorenej plochy. Dáva ich do vzťahu s funkčnými požiadavkami na konkrétny výrobok.

V histórii merania a hodnotenia drsnosti povrchu sa prvýkrát objavujú zrkové a hmatové vnemy na určovanie kritérií povrchu, kde bol reliéf textílie porovnávaný s etalónmi. Postupom času sa však tieto priekopnícke metódy nahradili kvantitatívnymi a číselnými metódami [1] [17].

3.1 Metódy hodnotenia drsnosti povrchu textílií

Drsnosť povrchu sa dá stanoviť dvoma rôznymi metódami, a to subjektívnou a objektívnou. Subjektívnou metódou hodnotí sám subjekt alebo niekoľkými predom vybranými respondentami, kým základom objektívnej metódy je meranie kvantitatívnym hodnotením pomocou špeciálnych meriacich prístrojov. Tieto prístroje merajú drsnosť povrchu textílií pomocou snímačov, ktoré zaznamenávajú nerovnosť povrchu v danom okamihu a v presných časových intervaloch. Prístroje snímajú určitý predom vybraný úsek, ktorý bol vybraný samotným subjektom, a výsledky meraní sa zaznamenávajú graficky, číselne. Tieto výsledky meraní sa po zaznamenaní vyhodnocujú prevažne štatistickými metódami, kde sa v konkrétnych číslach popisuje nerovnosť skúmaného povrchu, jeho rôznorodosť a prípadné nezrovnalosti. Výstup z meraní tvoria normalizované hodnoty drsnosti textílií.

V textilnej terminológii je dotyk textílie s pokožkou ľudského tela definovaný pojmom omak. Omak je veličina značne subjektívna a ťažko reprodukovateľná, založená na vnemoch prostredníctvom prstov a dlane, je to styk pokožky s textíliou a následné vyjadrenie pocitov. Vyvolané pocity súvisia s kvalitou zmyslového vnímania, rozpoložením respondenta, jeho skúsenosťami a citlivosťou kontaktného miesta.

3.1.1 Subjektívna metóda

Subjektívna metóda spočíva v hodnotení pocitu, ktorý vyvolal kontakt ruky respondenta s textíliou. Pri subjektívnom hodnotení sa jedná o povrchové, mechanické a tepelné vlastnosti plošných tkanín všeobecne. Respondenti hodnotia primárne zložky omaku, ktoré potom vyhodnotia ako celkový dotyk. Celkový úsudok o omaku a drsnosti povrchu textílie je značne ovplyvnený predpokladaným použitím textílie. Metódy merania u subjektívnej metódy sú rozdelené do 2 skupín:

Absolútna metóda

Vychádza z princípu zaraďovania individuálnych textílií do zvolenej subjektívnej stupnice- ordinálnej škály (napríklad 1 nevyhovujúce, 10 vynikajúce).

Komparatívna metóda

Je založená na triedení textílií podľa subjektívneho kritéria hodnotenia (napríklad textília s úplne najlepším omakom až po úplne nevyhovujúcu textíliu) [16].

3.1.2 Objektívna metóda

Objektívna metóda spočíva v meraní drsnosti povrchu textílií pomocou špeciálnych prístrojov.

Systém 2D hodnotenia drsnosti profilu povrchu

Krivka profilu povrchu je výstupom snímača meracieho prístroja, ktorý opisuje dráhu nerovností reliéfu daného profilu. Na tomto princípe sú založené všetky normy hodnotenia drsnosti povrchu. V súčasnej dobe sa čoraz viac prejavuje snaha hľadať nové parametry povrchu pomocou vyspelej výpočetnej techniky, ktoré by umožnili predvídať, ako sa pri svojej funkcii bude hodnotená súčasť správať [3].

Systém 3D hodnotenia drsnosti profilu povrchu

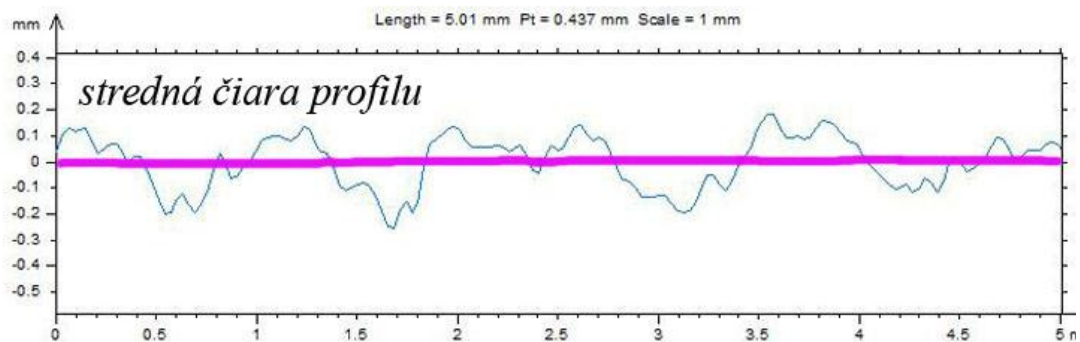
Systém 3D úspešne zvyrazňuje vplyv mikrogeometrie povrchu na funkčnosť správania sa danej súčasti. Veľká pozornosť je venovaná optickým a bezdotykovým snímacím metódam hodnotenia geometrie povrchu [3].

4. ŠTANDARDNÉ PARAMETRE DRSNOSTI POVRCHU

Drsnosť je mikrogeometria povrchu, ktorá je definovaná ako súhrn nerovností, geometrických odchýliek povrchu s relatívne horizontálnymi vzdialenosťami.

Veličiny drsnosti povrchu sa stanovujú a vyhodnocujú vzhľadom k základnej čiare profilu. Pri praktickom hodnotení drsností je touto čiarou v súlade s ČSN EN ISO 4287 (014450) stredná čiara profilu. Rozdeľuje skutočný profil tak, že v rozsahu dĺžky profilu je súčet druhých mocnín odchýliek od tejto čiary najmenší (obr. 6) [1].

(1)

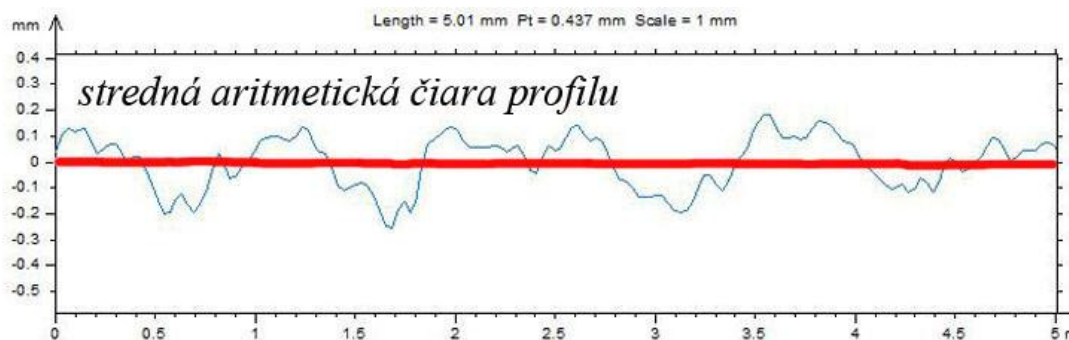


Obr. 6: Stredná čiara profilu.

Stredná aritmetická čiara profilu

Je základnou čiarou, značenou m , ktorá má tvar menovitého povrchu, je ekvidištantná so smerom skutočného profilu, rozdeľuje skutočný profil tak, že v rozsahu základnej dĺžky sú súčty plôch po oboch stranách rovnaké a v praxi zistiteľná pri grafickom spracovaní profilu (viď obr. 7).

(2)



Obr. 7: Stredná aritmetická čiara profilu.

Dĺžka profilu

Je dĺžka základnej čiary, značená l , používaná na oddelenie nerovností charakterizujúcich drsnosť povrchu iných geometrických odchýliek, hranica medzi drsnosťou povrchu a inými druhmi nerovností je v istom slova zmysle ľubovoľná pretože fyzikálne zdôvodnená hranica medzi drsnosťou povrchu a nerovnosťami prevyšujúcimi základnú dĺžku doteraz neexistuje.

Vzdialenosť medzi bodom skutočného profilu a základnou čiarou je odchýlka profilu R , resp. y . Odchýlky profilu y , pokiaľ sa vyhodnocujú z profilogramu, odmeriavajú sa v bodoch osi x vo vzájomných vzdialenostiach nazývaných diskretizáciou

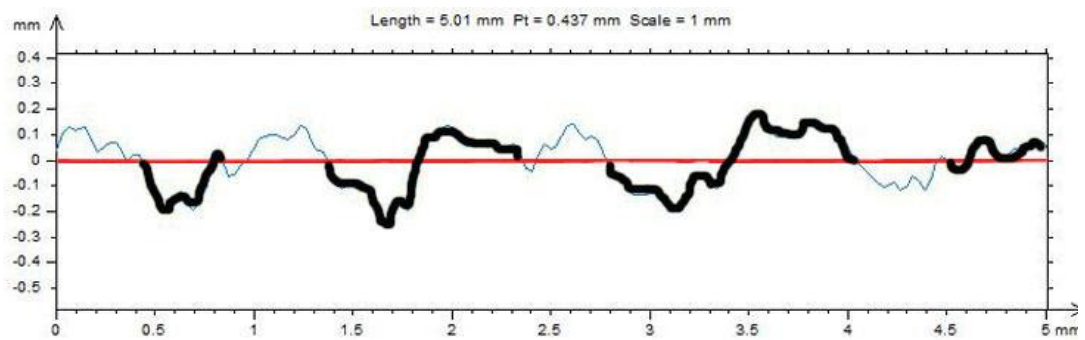
(3)

Tento krok je obvykle konštantný a na jeho veľkosti potom závisí aj presnosť, so zväčšovaním tohto kroku sa zväčšujú chyby, niektoré nerovnosti profilu môžu byť vo vyhodnocovaní zanedbávané.

Posudzovaním drsnosti povrchu je nutné ďalej rozlišovať na profile miestne nerovnosti profilu a nerovnosti profilu [1].

Nerovnosť profilu

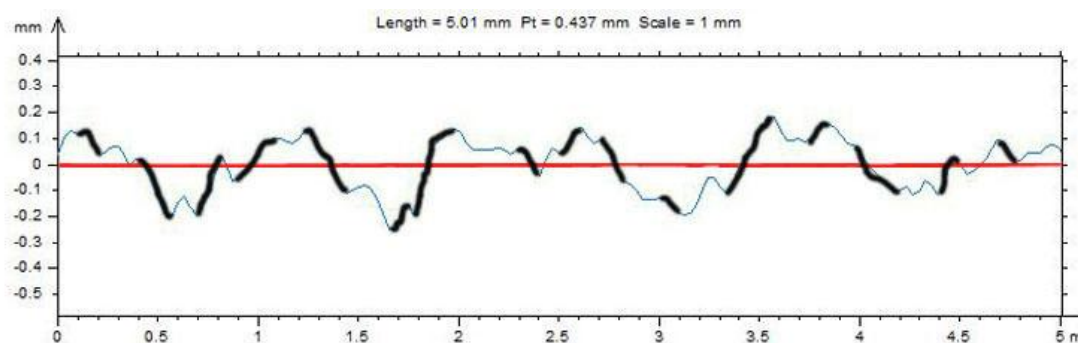
Tvorí ju výstupok profilu a s ním spojená priehlbeň profilu, označená je čiernou hrubou čiarou (obr. 8).



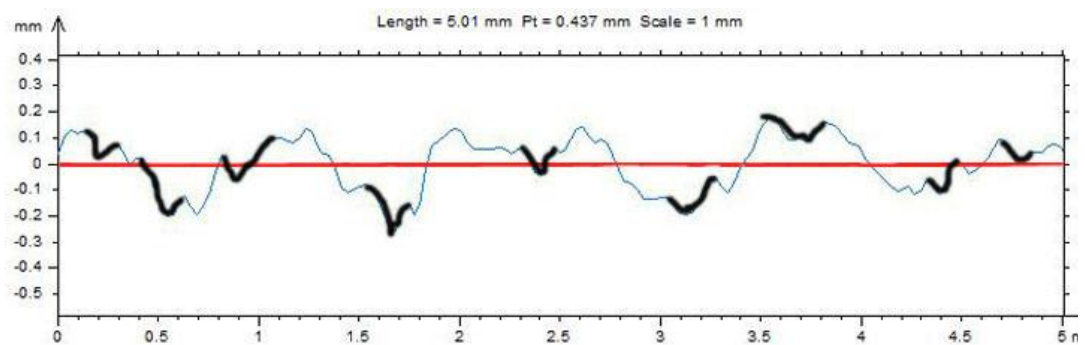
Obr. 8: Nerovnosť profilu.

Miestna nerovnosť profilu

Je tvorená miestnym výstupkom a s ním spojenou priehlňňou, miestny výstupok profilu je časť skutočného profilu, ktorá leží medzi dvoma susednými najnižšími bodmi profilu, miestne výstupky ako aj miestne priehlbné sú označené čiernou čiarou (obr. 9 a 10).



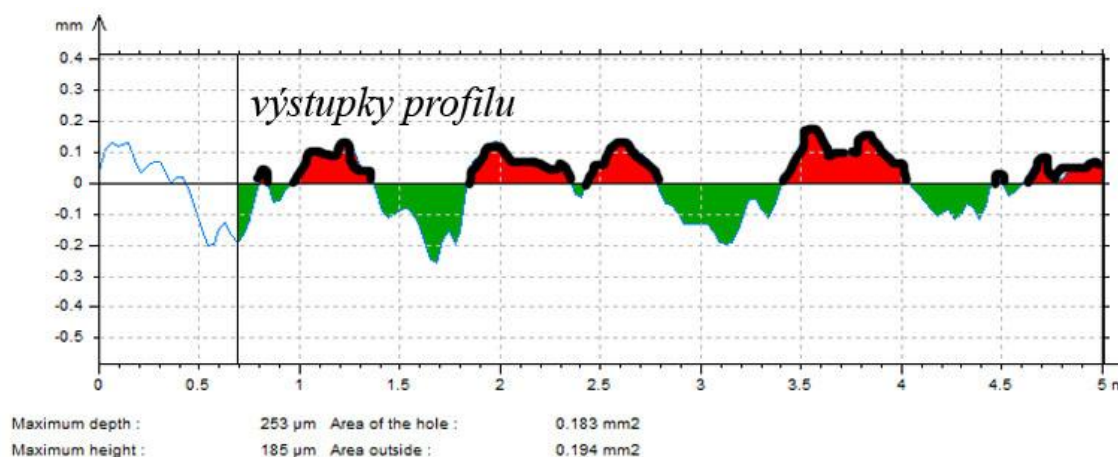
Obr. 9: Miestne výstupky profilu.



Obr. 10: Miestne priehlbné profilu.

Výstupok profilu

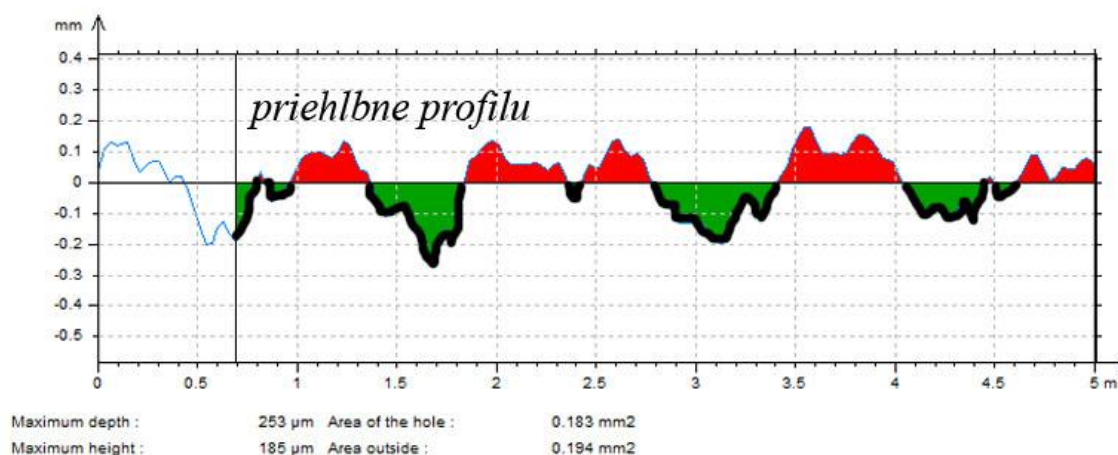
Je časť skutočného profilu uvažovaná smerom z materiálu, spojuje dva susediace priesečníky so strednou čiarou profilu, časti výstupkov na začiatku alebo na konci dĺžky profilu sa považujú vždy za výstupky profilu (viď obr. 11), kde modrou je značený profil, červenou sú značené plochy výstupkov, čiernou hrubou čiarou sú značené obrysy výstupkov profilu a zelenou sú značené plochy priehlbni.



Obr. 11 : Výstupky profilu.

Priehlbne profilu

Je časť skutočného profilu uvažovaná smerom do materiálu, spojuje dva susediace priesečníky so strednou čiarou profilu, časti priehlbni na začiatku alebo na konci dĺžky profilu sa považujú vždy za priehlbne profilu (viď obr. 12), kde modrou je značený profil, červenou sú značené plochy výstupkov, zelenou sú značené plochy priehlbni a čiernou hrubou čiarou sú označené profily priehlbni.



Obr. 12: Priehlbne profilu.

4.1 Normalizované charakteristiky drsnosti povrchu

Požiadavky na drsnosť povrchu sa vyjadrujú charakteristickým údajom drsnosti povrchu, a to buď jedným alebo niekoľkými, číselnou hodnotou príslušnej veličiny a dĺžkou profilu, na ktorej je veličina určená.

Normalizované charakteristiky drsnosti profilu (viď Tab.1) [1] [17]:

Tab.1: Normalizované charakteristiky.

MAD/R_a	Stredná aritmetická odchýlka profilu,
TP / R_z	Výška nerovností počítaná z desiatich hodnôt profilu,
R_m	Najväčšia výška nerovností profilu,
Z_m	Stredná rozteč nerovností profilu,
Z	Stredná rozteč miestnych výstupkov profilu,
t_p	Nosný podiel,
MP	Priemerná výška vrcholov,
MV	Priemerná hĺbka priehlbín.

Štandardné metódy hodnotenia povrchovej drsnosti sú založené na relatívnej premenlivosti charakterizovanej variačným koeficientom, alebo jednoducho pomocou smerodatnej odchýlky. Charakteristika povrchovej drsnosti, založená na priemernej absolútnej odchýlke MAD (*Mean Absolute Deviation*), je vyjadrená klasickým spôsobom. Táto charakteristika je vhodná pre náhodné SHV profily, kde jednotlivé súčasti SHV profilu sú na sebe štatisticky nezávislé.

Stredná aritmetická odchýlka (MAD/R_a)

Je základná charakteristika drsnosti povrchu, stredná absolútna odchýlka profilu na dĺžke l je definovaná pre spojitý profil:

$$MAD = \frac{1}{l} \int_0^l |R(x) - \bar{R}| dx, \quad (4)$$

a pre diskretný profil:

—

(5)

kde x je x -ová súradnica profilu, $R(x)$ je výška profilu v mieste x , \bar{R} je priemerná hodnota výšky profilu, R_i je súradnica N bodov profilu povrchu v medziach základnej dĺžky; $i=1, 2, 3, \dots, N$, l je dĺžka profilov, N je počet bodov profilu povrchu na dĺžke profilu. Charakteristika *MAD* vo svojej podstate udáva len strednú hodnotu absolútnych odchýliek súradníc jednotlivých bodov profilu skúmaného povrchu od strednej čiary profilu. Je to iba štatistická hodnota, nemá väčšiu schopnosť záveru než jej definícia. Najčastejšie sa využíva na kontrolu kvality [1].

Výška nerovností profilu z desiatich bodov (TP/ R_z)

Je definovaná ako priemer absolútnych výšok piatich najvyšších výstupkov profilu a hĺbok piatich najnižších priehlbín profilu v rozsahu dĺžky profilu

—————

(6)

kde R_{pmi} je výška i -tého najvyššieho výstupku profilu, R_{vmi} je hĺbka i -tej najhlbšej priehlbne. Je citlivá na prítomnosť vysokých hodnôt vrcholov a nízkych hodnôt priehlbín vo vnútri profilu a často sa používa ku kontrole kvality.

Najväčšia výška nerovností profilu (R_m)

Je výšková charakteristika drsnosti profilu, značená R_m , je určená vzdialenosťou medzi čiarou výstupkov profilu a čiarou priehlbín profilu v rozsahu základnej dĺžky a je využívaná iba ako doplnkové meradlo [1].

Stredná rozteč nerovností profilu (Z_m)

Je charakteristika drsnosti povrchu v pozdĺžnom smere povrchu, značená Z_m , určuje sa ako priemer roztečí nerovnosti profilu v rozsahu základnej dĺžky

$$\frac{1}{l_l} \sum_{k=1}^N Z_k \quad (7)$$

kde l_l je dĺžka úseku na strednej čiare profilu, kde $l_l > 1$ ohraničená prvým a posledným nepárnym priesečníkom krivky profilu so strednou čiarou, k je počet priesečníkov krivky profilu so strednou čiarou na dĺžke meraného úseku, N je počet roztečí na strednej čiare profilu.

Stredná rozteč miestnych výstupkov (Z)

Je charakteristika drsnosti povrchu v pozdĺžnom smere povrchu, značená Z , určuje sa ako priemer roztečí miestnych výstupkov v rozsahu základnej dĺžky

$$\frac{1}{l} \sum_{i=1}^n Z_i \quad (8)$$

kde Z_i je rozteč miestnych výstupkov, resp. ich dĺžka úseku strednej čiaary profilu medzi priemerom dvoch najvyšších bodov susedných miestnych výstupkov profilu, n je počet roztečí na strednej čiare profilu, N je počet najvyšších bodov miestnych výstupkov profilu v rozmedzí dĺžky profilu a l je dĺžka profilu.

Nosný podiel (t_p)

Je tvarová charakteristika profilu, značený t_p a je definovaný ako pomer nosnej dĺžky profilu k základnej dĺžke

$$\frac{l_p}{l} \quad (9)$$

kde l je základná dĺžka profilu a l_p je dĺžka povrchovej krivky profilu, súčet dĺžok úsekov vytvorených v určitej polohe rezu v materiále čiarou profilu, ekvidištantná so strednou čiarou profilu v rozsahu základnej dĺžky:

(10)

Priemerná výška vrcholov (MP)

Je definovaná ako priemerná odchýlka profilu nad referenčnou hodnotou R , pre hodnoty vrcholov $P_i, i=1, \dots, N_p$ platí:

(11)

Priemerná výška priehlbni (MV)

Je definovaná ako priemerná odchýlka profilu pod referenčnou hodnotou

(12)

4.1.1 Nenormalizované charakteristiky drsnosti povrchu

Pre detailnejší popis povrchu sa používajú ešte nenormalizované charakteristiky povrchu, ktoré nie sú zahrnuté v normách, vid' Tab. 2.

Tab. 2: Nenormalizované charakteristiky povrchu.

SD/R_q	Stredná kvadratická odchýlka profilu,
CV	Variačný koeficient výšky profilu,
PSC	Priemerný štvorec smernice profilu,
PC	Priemerná krivosť profilu,
MS	Priemerná smernica profilu.

Stredná kvadratická odchýlka profilu (SD/ R_q)

Stredná kvadratická odchýlka profilu je v rozsahu svojej dĺžky určená vzťahom pre spojitý profil:

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2 dx}}{\sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y dx}} \quad (13)$$

alebo pre diskretný profil:

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i}} \quad (14)$$

kde l je dĺžka profilu a N je počet vybraných bodov na dĺžke profilu.

Stredná kvadratická odchýlka profilu SD je súčasne smerodatnou odchýlkou jednotlivých bodov profilu povrchu, rovnako ako MAD sa hodnota SD používa pre výškové hodnotenie profilu povrchu [1] [17].

Variačný koeficient výšky profilu (CV)

Je súvisiacou bezrozmernou charakteristikou, je používanou charakteristikou variability povrchu

$$\frac{SD}{MAD} \quad (15)$$

jeho štatistické správanie je známe pre prípad, kde dáta R_i sú nezávislé a majú rovnaké normálne rozdelenie. Výhodou parametru SD oproti MAD je ľahká konštrukcia intervalov spoľahlivosti a prevádzanie štatistických testov pre normálne rozdelené dáta. Hodnota SD je vždy vyššia než hodnota MAD a pre normálne rozdelené dáta vždy platí

$SD = 1,25 \text{ MAD}$. Samotný parameter SD rozhodne nie je dostačujúci pre rozlíšenie profilov rôznych tvarov [1] [2].

Priemerný štvorec smernice profilu (PSC)

Je definovaný vzťahom

$$\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n-1} \quad (16)$$

v software MatLab sa derivácie nahrádzajú diferenciami [1] [2].

Priemerná krivosť profilu (PC)

Táto charakteristika je často označovaná ako vlnitosť a je definovaná vzťahom

$$\frac{\sum_{i=1}^n |S_i - \bar{S}|}{n-1} \quad (17)$$

smernice a krivosť sú parametrami charakterizujúcimi tvar profilu a sú tiež významné pre tribologické aplikácie a pre rozptyl žiarenia [1] [2].

Priemerná smernica profilu (MS)

Je daná vzťahom

$$\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \quad (18)$$

je dôležitá v ďalších aplikáciách ako napr. sledovanie šmykového trenia a reflexie svetla od povrchu, resp. opotrebenie. Nižšia hodnota smernice znamená menšie trenie a s ním súvisiace nižšie opotrebenie [1] [2].

4.2 Povrchová drsnosť textilných materiálov

Povrchová drsnosť textilných materiálov je udávaná štandardnými údajmi. Štandardným údajom pre drsnosť materiálov je variačný koeficient SHV (*Surface Height Variation*). Definície metód pre detekciu nepravidelnosti bežných textílií sa v minulosti riešili na základe existencie trecej sily a trenia [7], ďalej meraním pomocou kontaktnej čepele alebo prúdom vzduchu [32], KES (*Kawabata Evaluation System*) [11], merania krokovým hrúbkomerom [3] alebo i inými zariadeniami. Podľa všeobecného hľadiska sa deli povrchová drsnosť u textílií na dve hlavné zložky:

Náhodná zložka

Povrch sa mení náhodne a nedá sa popísať jednoduchými geometrickými prostriedkami.

Štruktúrna zložka

Povrch sa mení s súlade s konštrukciou textílie a obyčajne sa dá u neho nájsť periodické opakovanie lokálnych extrémov *SHV*. Špeciálne u povrchu tkanín je prítomná periodicitá vzhľadom k opakovaniu vo väzbe textílie (napr. u mančestru, u pracieho kordu).

4.2.1 Charakteristika premenlivosti dráhy povrchu textílie – *SHV* a *SFV*

SHV (*Surface Height Variation*) je kolísanie povrchovej výšky. Kolísanie povrchovej výšky je pre väčšinu plošných textílií nepravidelné a výrazne je štruktúrované.

SFV (*Surface Force Variation*) je kolísanie sily potrebnej ku pohybu britu po povrchu textílie (*Surface Force Variation*). Získaný profil kolísania sily má byť úmerný výsledkom z priameho merania profilu výšky povrchu *SHV*. Kvôli deformácii povrchu sa však *SFV* od *SHV* líši.

Snímač u jednotlivých zariadení na meranie povrchovej drsnosti kopíruje povrch textílie v smere pozdĺžnej osi a v presne stanovených vzdialenostiach zaznamenáva premenlivosť hrúbky $R(d_i)$.

Pre jednotlivé zariadenia je dĺžka meraného úseku profilu l v smere pozdĺžnej osi definovaná štandardne. Krivka kopírujúca povrch textílie je tvorená množinou bodov d_i , ktoré sú od seba vzdialené o ekvidištantný úsek ds . Z tejto krivky sa dá stanoviť a definovať členitosť povrchu a určiť základné štatistické parametre popisujúce drsnosť povrchu.

4.2.2 Hodnotenie profilu povrchu textílie

Z meranej SHV alebo z kolísania sily potrebnej k pohybu britu po povrchu textílie (SFV) sa dajú definovať jednotlivé parametre drsnosti popísané množinou bodov $R(d_i)$, kde $i=1, \dots, M$ definované na dĺžke intervalu l . Vzdialenosti d_i sa volia ako ekvidištantné s tým, že $R(d_i)$ sa nahradí premennou R_i . Pre identifikáciu pozície merania na vzorke je postačujúce poznať vzdialenosť medzi meraniami

$$— \quad (19)$$

Variácia alebo zmena hrúbky $R(d_i)$ či zmena sily $F(d_i)$ potrebnej k prekonaniu povrchového trenia môže byť všeobecne kombináciou náhodného kolísania zapríčineného nerovnomernosťou priadze, rozstupom medzi priadzami alebo variabilitou výroby a periodických kolísaní spôsobených opakovaním vo vzore tvoreného útkovými či osnovnými priadzami.

Pre výpočet charakteristík popisujúcich drsnosť povrchu sa používajú zmerané hodnoty hrúbky $R(d_i)$ respektíve sily $F(d_i)$. U tkanín je nevyhnutel'né identifikovať periodické zložky v hrúbke $R(d_i)$ a sily $F(d_i)$. pre tieto účely sa často využíva spektrálna analýza.

4.3 Spektrálna analýza

Spektrálna analýza je najbežnejším spôsobom oddelenia drsnosti a vlnitosti, je založená na Fourierovej transformácii signálu z časovej oblasti (x alebo d) do oblasti frekvencie

(20)

Fourierova transformácia je vlastne vyjadrenie časove závislého signálu pomocou harmonických vzťahov, tj. funkciou \sin a \cos . Prenáša signály, ktoré môžu byť v spojitom alebo v diskretnom čase z časovej oblasti do frekvenčnej oblasti.

Štandardná definícia Fourierovej transformácie je pre oblasť spracovania signálu definovaná vzťahom

(21)

kde premenná $x(t)$ reprezentuje časovú oblasť v jednotkách [s] a transformovaná premenná $X(f)$ reprezentuje oblasť frekvencie. Časová premenná môže byť rekonštruovaná naspäť z inverznej transformácie

(22)

a $X(f)$ sa dá vyjadriť v polárnych súradniciach

(23)

kde $A(f) = |X(f)|$ predstavuje amplitudu a $\Phi(f)$ predstavuje fázu.

Inverzná transformácia môže byť potom zapísaná formou

(24)

Autor Bleša [17] vo svojej práci v algoritme *reliefman.m* v softwari MatLab používa Fourierovu transformáciu pre výpočet skúmaných charakteristík profilu povrchu. U spracovania dat dospel k názoru, že pre ďalšie spracovanie dat z obrazu profilu drsnosti do obrazovej matice je najoptimálnejší výber prvých 30 harmonických čísel. Pokusmi zistil, že číslo 10 je veľmi malé a číslo 50 už veľmi veľké na vykreslenie profilu. V tejto diplomovej práci je na výpočet skúmaných charakteristík profilu povrchu v algoritmoch taktiež použitých 30 harmonických čísel pre najoptimálnejšie vykreslenie profilu povrchu.

Diskrétna Fourierova transformácia

Diskrétna Fourierova transformácia (*DFT*) je diskretnou formou Fourierovej transformácie. Transformuje funkcie signálu z časovej oblasti do frekvenčnej oblasti a späť. Tým, že vstupná funkcia je konečnou postupnosťou reálnych a imaginárnych čísel, je k spracovaniu signálu vo výpočetnej technike ideálna *DFT*. Táto transformácia je rozšírená v príbuzných oboroch spracovania signálu k analýze frekvenčných zložiek, ktoré sú obsiahnuté v signále vzorky. *DFT* je efektívne počítaná algoritmom rýchlej Fourierovej transformácie (*Fast Fourier transform* - *FFT*).

FFT je efektívny algoritmus pre spočítanie *DFT* a jej inverzie. *FFT* je veľmi dôležitá v mnohých oblastiach, od digitálneho spracovania signálu a riešenia parciálnych diferenciálnych rovníc až po rýchle násobenie veľkých celých čísel.

Rýchla Fourierova transformácia vedie k transformovanému komplexnému vektoru *DRF*. Vektor *DRF* môže byť použitý k tvorbe spektrálnej výkonovej hustoty (*Power Spectral Density* - *PSD*). *PSD* (ω) podľa vzťahu

$$, \quad (25)$$

kde *conj(.)* označuje komplexne združený vektor. *PSD* (ω) je funkcia spektrálnej výkonovej hustoty a obsahuje hodnoty, ktoré korešpondujú príspevkom jednotlivých frekvencií [2].

Algoritmus *FFT* je taktiež imlementovaný do všetkých najrozšírenejších matematických programov Ako sú napr. GNU Octave, Mathcad, Mathematica, Maple, MatLab atď. [2] [19].

5. EXPERIMENT

Táto diplomová práca je zameraná na porovnanie dvoch prístrojov na meranie drsnosti povrchu bezkontaktnou metódou, a to prístroja Talysurf, ktorý meria profil povrchu textílie laserom a prístroja RCM, ktorý meria profil povrchu nasvietením hrany textílie LED diódou. Konkrétne meranie bude prevádzané na ôsmich odlišných vzorkách materiálu, vzorky A, B, C, G a H sú vzorky mančestru, kým vzorky D, E, F sú vzorky pracieho kordu, ktorý je jemnejší než mančester. Materiál všetkých vzoriek je 100% bavlna, tým sa zaistila čo najmenšia elasticita skúmaných vzoriek, ktorá nie je v meraní žiadúca.

Meraním sa získajú dve skupiny výsledkov, osem vzoriek meraním prístroja RCM, a ďalších osem vzoriek meraním prístroja Talysurf. Z nameraných profilov budú vypočítané normalizované i nenormalizované charakteristiky drsnosti povrchu podľa vzťahov (4) – (18). Výsledky meraní zvlášť pre všetky namerané vzorky sa porovnávajú podľa normovaných i nenormovaných charakteristík, kde sa porovnáva zvlášť výsledok meraní vzorky na RCM s meraním na prístroji Talysurf. Na výpočet charakteristík je použitý algoritmus softwaru MatLab *drsnostRCM.m* pre meranie výsledkov z prístroja RCM a algoritmus *drsnostT.m* pre výsledky z prístroja Talysurf.

Pre vyhodnotenie meraných charakteristík je použitý algoritmus *vyhodnoceni.m*, ktorý je spoločný pre oba prístroje. Pomocou uvedených algoritmov, ktoré sa nachádzajú v prílohe diplomovej práce, sa vypočítajú normované i nenormované charakteristiky drsnosti povrchu daných vzoriek, výsledky meraní sú uvedené v tabuľkách. Účelom tohto experimentu je porovnať prístroje RCM a Talysurf na základe bezkontaktnej metódy merania povrchu drsnosti a následne vyhodnotiť presnosť prístrojov a určiť, ktorý z daných prístrojov je na meranie drsnosti povrchu textílií vhodnejší.

6. VZORKY

6.1 Popis vzoriek meraných tkanín

Odber vzoriek sa riadi normou ČSN EN 12751, a vzhľadom ku konštrukcii prístroja RCM a prístroja Talysurf je doporučený odber vzoriek textílií v daných rozmeroch, rozmery nie sú rovnaké pre oba prístroje. Pre prístroj RCM sú doporučené rozmery obsiahnuté v Tab. 3.1 a pre prístroj Talysurf sú doporučené rozmery v Tab. 3.2:

Tab. 3.1: Doporučené rozmery pre prístroj RCM.

Šírka vzorky v <i>mm</i> :	150
Dĺžka vzorky v <i>mm</i> :	od 200 teoreticky bez obmedzenia
Hrúbka vzorky v <i>mm</i> :	ľubovoľná, avšak limitujúcim faktorom zostáva dostatočná ohybnosť textílie cez meriacu hranu

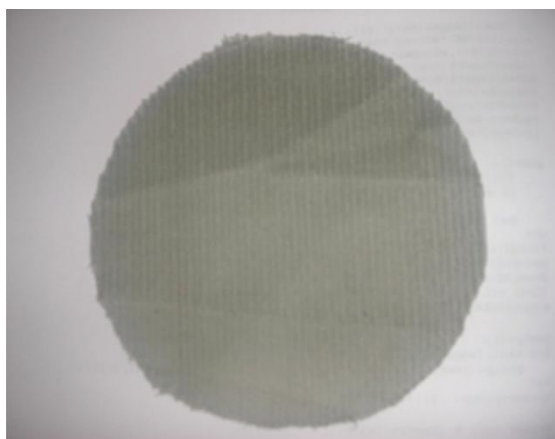
Tab. 3.2: Doporučené rozmery pre prístroj Talysurf.

Šírka vzorky v <i>mm</i> :	maximálne 100
Dĺžka vzorky v <i>mm</i> :	maximálne 100
Hrúbka vzorky v <i>mm</i> :	ľubovoľná, textília sa neohýba, preto je prístroj vhodný i na hrubšie vzorky

Pre porovnanie meraní z týchto dvoch prístrojov bolo vybraných osem porovnateľných vzoriek mančestrovej tkaniny a pracieho kordu (obr. 13 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)) s parametrami, ktoré sú uvedené v Tab. 4:

Tab. 4: Parametre tkanín použitých na vzorky.

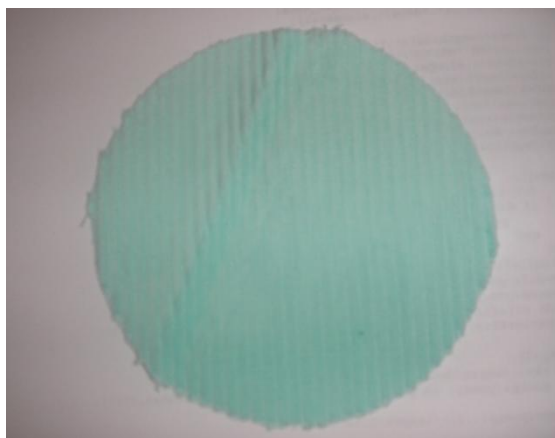
	Materiál	Hustota vlasových riadkov na 100 mm	Zloženie materiálu	Plošná merná hmotnosť [g.m ⁻²]
Vzorka A	mančester	47	100 % <i>Ba</i>	346
Vzorka B	mančester	90	100 % <i>Ba</i>	361
Vzorka C	mančester	29	100 % <i>Ba</i>	341
Vzorka D	prací kord	70	100 % <i>Ba</i>	358
Vzorka E	prací kord	60	100 % <i>Ba</i>	348
Vzorka F	prací kord	50	100 % <i>Ba</i>	347
Vzorka G	mančester	19	100 % <i>Ba</i>	338
Vzorka H	mančester	50	100 % <i>Ba</i>	347



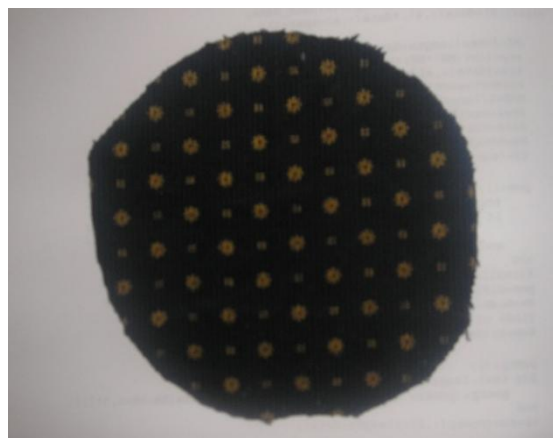
(a)



(b)



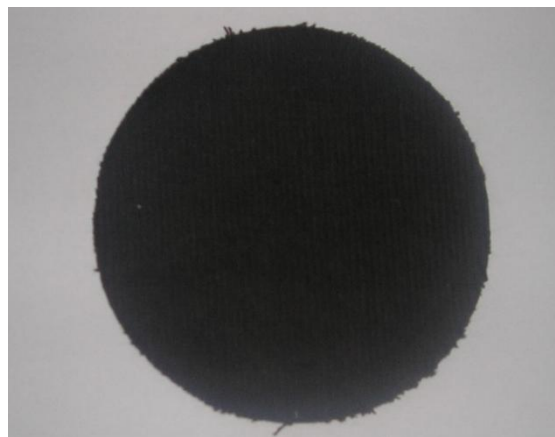
(c)



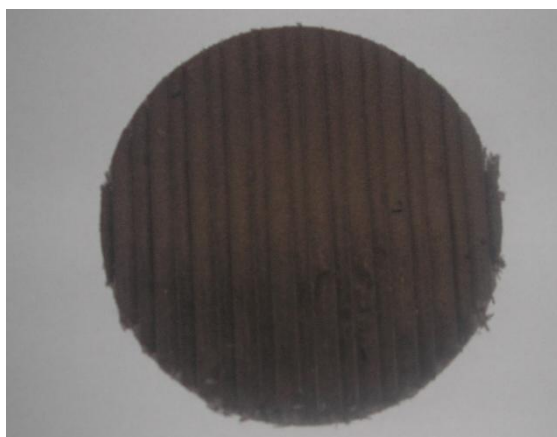
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Obr. 13: Vzorky materiálu: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.

6.2 Spracovanie výsledkov merania

6.2.1 Meranie systémom RCM

Vzorky látky sa upínajú do fixačných čeľustí RCM systému. Vo všetkých prípadoch sa musia rovnomerne napnúť za účelom hladkého posunovania cez meraciu hranu systému. Snímalo sa po 150 snímok po piatich meraniach na každú vzorku materiálu za účelom čo najpresnejšieho namerania. Priemerná vzdialenosť posuvu medzi jednotlivými priečnymi virtuálnymi rezmi je približne 0,4 mm. Prístroj bol kalibrovaný na 0,01 mm/ pixel. Výstupná obrazová matica má rozlíšenie 2430 dpi a 1263 pix a 1 pix= 0,0104 mm.

6.2.2 Meranie prístrojom Talysurf

Skúmaná vzorka rozmerov 10x10 cm sa položí na plochu pod laser a začne sa snímať povrch textílie rozmerov 30x30 mm, podložka sa s textíliou pohybuje zľava doprava rýchlosťou 20 mm/s^{-1} a spätnú rýchlosť má 30 mm/s^{-1} . Jedno meranie tejto vzorky trvá 2 hodiny a 18 minút. V týchto prípadoch skúmaných vzoriek sa nameralo 1500 profilov, každá z ôsmich vzoriek sa merala jedenkrát. Výstupná obrazová matica profilu má rozmery 1500 riadkov na 1000 stĺpcov a $1 \text{ pix} = 0,03 \text{ mm}$.

Na vyhodnotenie výstupných obrazových matic sú vytvorené algoritmy softwaru MatLab *drsnostRCM.m*, *drsnostT.m*, *vyhodnoceni.m*. Skripty všetkých spomínaných algoritmov sú obsahom prílohy tejto práce. Vstupom merania je dostatočný počet snímok reliéfu povrchu textilných vzoriek, ktoré sú zaostrené na rozhranie reliéfu s pozadím. Algoritmus *drsnostRCM.m* je vytvorený pre výpočet drsnosti povrchu obrazových matic získaných z prístroja RCM a algoritmus *drsnostT.m* je vytvorený pre výpočet drsnosti povrchu obrazových matic získaných z prístroja Talysurf. Výsledky drsnosti povrchu textílie sú vyhodnotené počítačom bez nutnosti manuálneho zásahu do výpočetnej procedúry. Parameter *vyhodnoceni.m* sa použije u oboch systémov, u RCM i u Talysurfu.

Popis procedúry obrazovej analýzy získaných snímok reliéfu textílií programom *drsnostRCM.m* vystihujú tieto postupy, na ukážke pre dve mančestrové vzorky G a H:

Farebný obraz profilu drsnosti konkrétnej meranej vzorky sa načítal ako snímka vo formáte tiff (obr. 14 (g),(h)) príkazom *imread.m*. Farba obrazu profilu nie je nevyhnutná pre nasledujúce postupy, preto sa obrazová matica transformovala do šedej škály (obr.15 (g),(h)) príkazom *rgb2gray.m* a prahovala príkazom *graythresh.m*. Nasledujúcim príkazom *im2bw.m* sa dosiahol binárny obraz a následne sa znegoval (obr. 16 (g),(h)). Z dôvodu korigovania šumu a odstránenia nežiadúcich elementov v hornej časti obrazu sa vyplnili diery a povrch sa korigoval príkazom *imfill.m* (obr. 17 (g),(h)). Vyplnený binárny obraz sa následne eroduje príkazom *imerode.m* z dôvodu

minimalizovania pozostatkov rušivých elementov v hornej časti obrazovej matice (obr. 18 (g),(h)). Nasledovným príkazom *imdilate.m* na obrázku 19 (g),(h) sa matica dilatovala s definovaným štrukturálnym prvkom a znovu sa znegovala (obr. 20 (g),(h)). Na obrázku 21 (g),(h) je obraz po úplnej korekcii spomínanými postupmi. Po týchto úpravách sa nasledovne vykreslila konštrukcia krivky opisujúcej profil povrchu v oblasti dostatočného kontrastu virtuálneho priečného rezu snímanej vzorky a tmavého pozadia.

Následne bola použitá Fourierová transformácia podľa vzťahu (21) na výpočet skúmaných charakteristík profilu povrchu s prvými 30 harmonickými číslami pre najoptimálnejšie vykreslenie profilu povrchu podľa Bleši [17]. Príkazom *mean.m* sa zkonštruovala stredová čiara profilu značená zelenou farbou (obr. 22.1 (g),(h)), profil povrchu modrou a profil povrchu upravený Fourierovou radou s prvými 30 harmonickými číslami je vyznačený červenou farbou. Priblíženie výrezu profilu so stredovou čiarou, profilu povrchu a Fourierovou radou sa nachádza na obr. 22.2 (g),(h).

Pre vysvetlenie rozdielov v štruktúre povrchu pre všetky skúmané vzorky sú nasledujúce kroky zobrazené pre osem meraných vzoriek. Jednotlivé krivky opisujúce virtuálne priečne rezy konkrétnej textílie sú zoradené k sebe, čím je rekonštruovaný povrch v podobe pôdorysnej mapy variáciou výšky s farebnou škálou odpovedajúcou vrstevnici výšky príkazom *contour.m* (obr. 23.1 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)) a (obr. 23.2 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)).

Nasledujúce krivky opisujúce virtuálne priečne rezy danej vzorky sú umiestnené k sebe, čím je vytvorený 3D útvar príkazom *mesh.m* (obr. 24.1 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)) pre prístroj RCM a (obr. 24.2 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)) pre prístroj Talysurf, kde sa povrch profilu každej nameranej vzorky vyhodnocuje v softwari Talymap CLI.



(g)



(h)

Obr. 14: Obrazová matica: (g) vzorka G, (h) vzorka H.



(g)



(h)

Obr. 15: Transformácia do šedej škály: (g) vzorka G, (h) vzorka H.



(g)



(h)

Obr. 16: Binárny obraz a negácia: (g) vzorka G, (h) vzorka H.



(g)



(h)

Obr. 17: Vyplnenie dier: (g) vzorka G, (h) vzorka H.

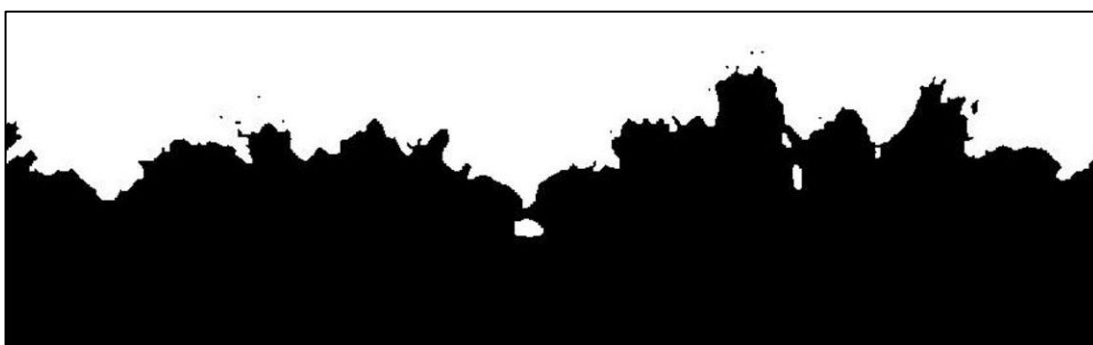


(g)



(h)

Obr. 18: Erodovanie: (g) vzorka G, (h) vzorka H.



(g)



(h)

Obr. 19: Dilatácia: (g) vzorka G, (h) vzorka H.

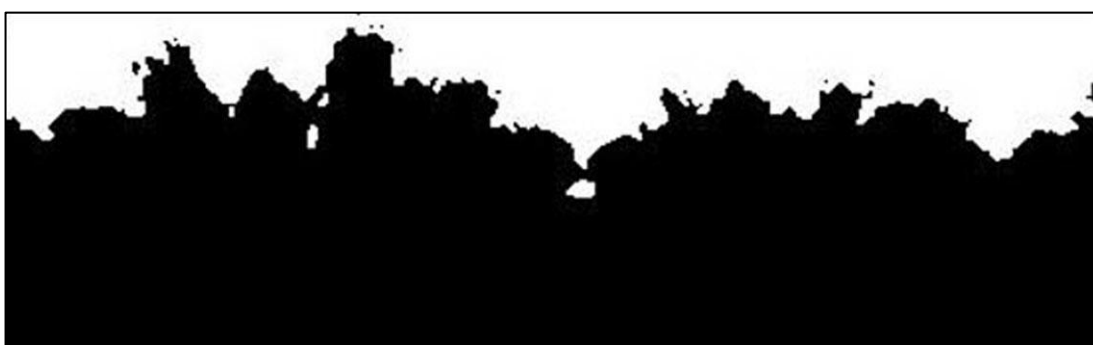


(g)



(h)

Obr. 20: Ďalšia negácia: (g) vzorka G, (h) vzorka H.

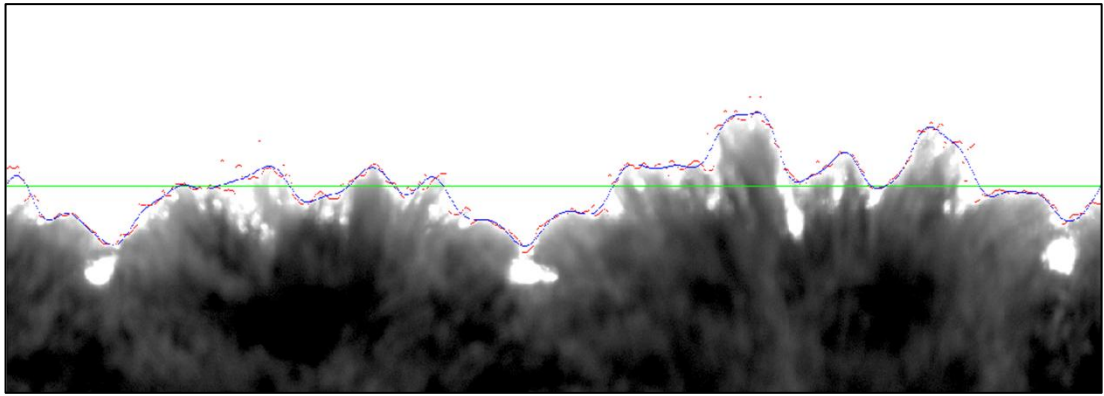


(g)

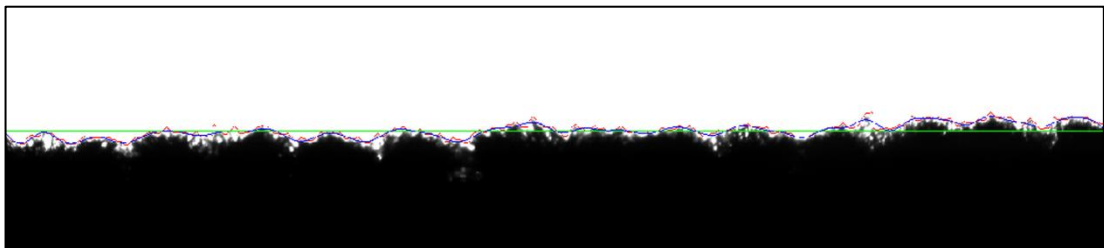


(h)

Obr. 21: Obráz po korekcii: (g) vzorka G, (h) vzorka H.



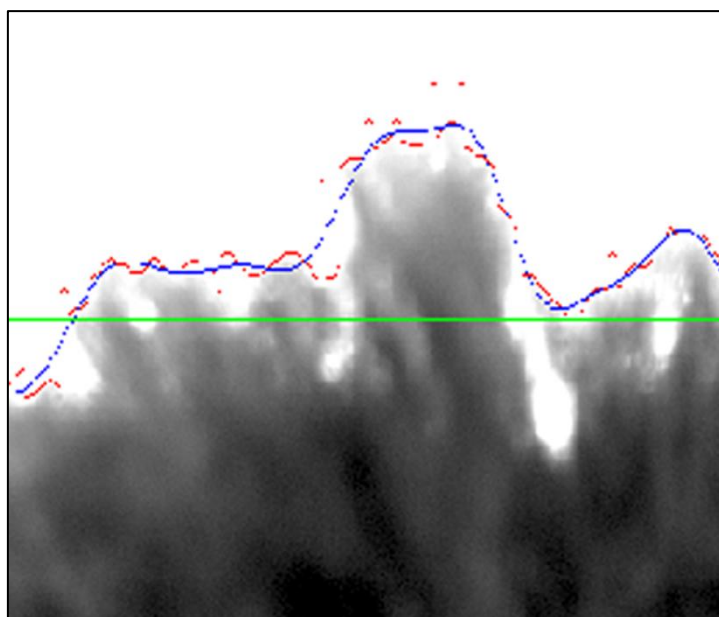
(g)



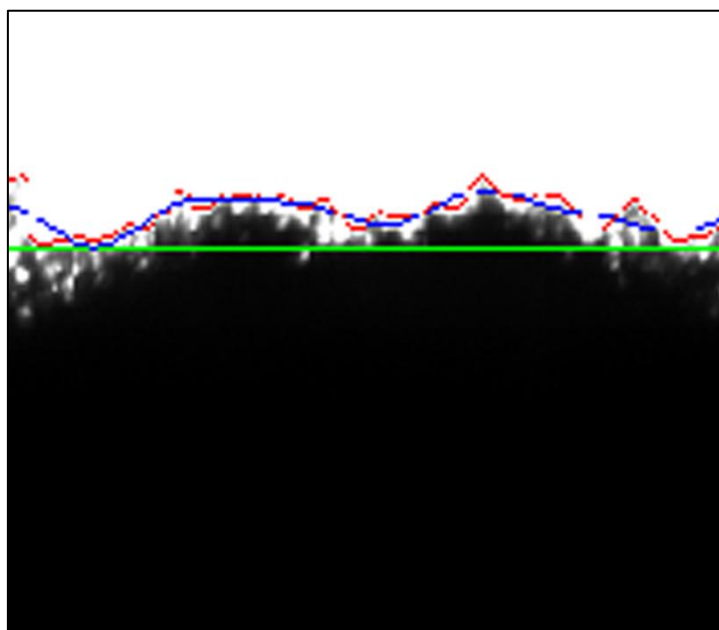
(h)

Obr. 22.1 : Konštrukcia krivky opisujúcej profil povrchu a stredovej čiary profilu: (g) vzorka G, (h) vzorka H.

Na obrázku 22.1 (g), (h) je zaznamenaná konštrukcia krivky profilu prístrojom RCM, avšak po detailnejšom skúmaní vidno, že krivka profilu neopisuje profil dostatočne, nezachádza do detailov. Na obrázku 22.2 (g), (h) je výrez skúmanej krivky, kde nedostatky sú ešte zreteľnejšie. Tieto chyby majú za následky následné problémy s porovnaním vyhodnotenia charakteristik prístroja RCM s prístrojom Talysurf.

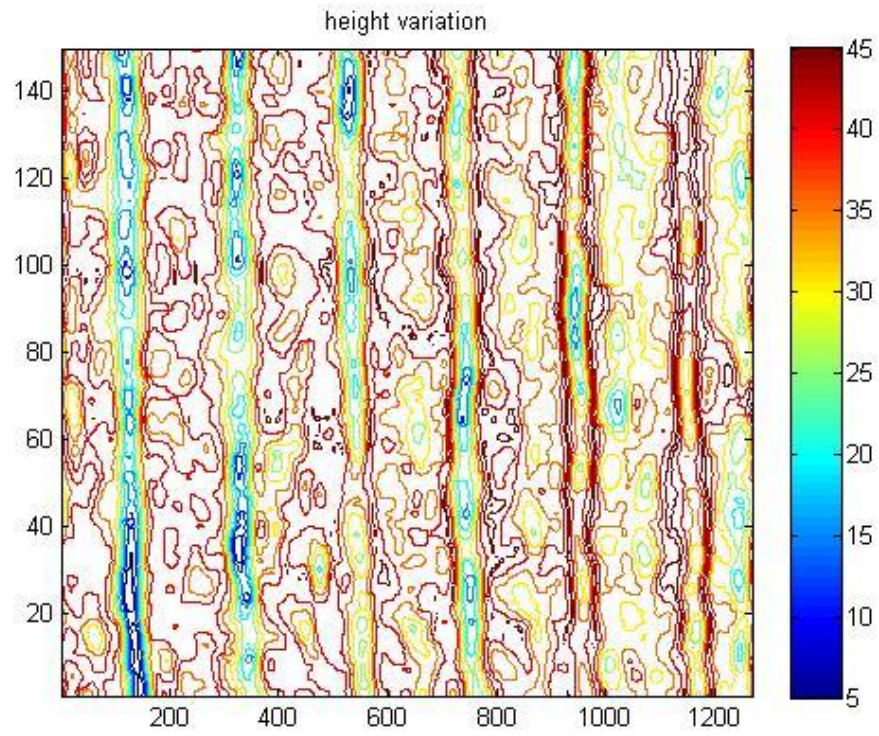


(g)

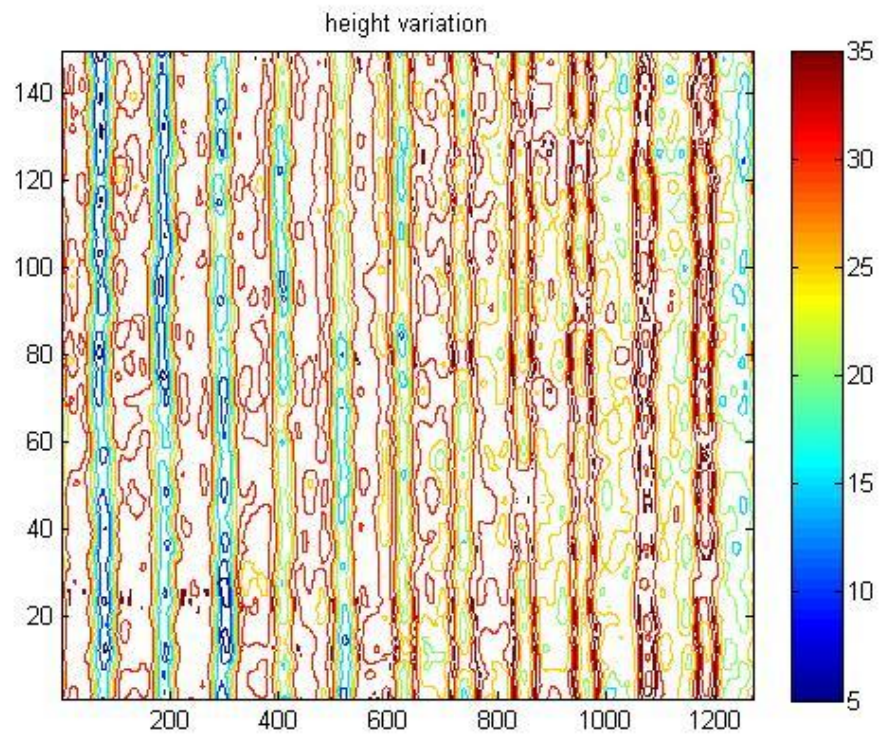


(h)

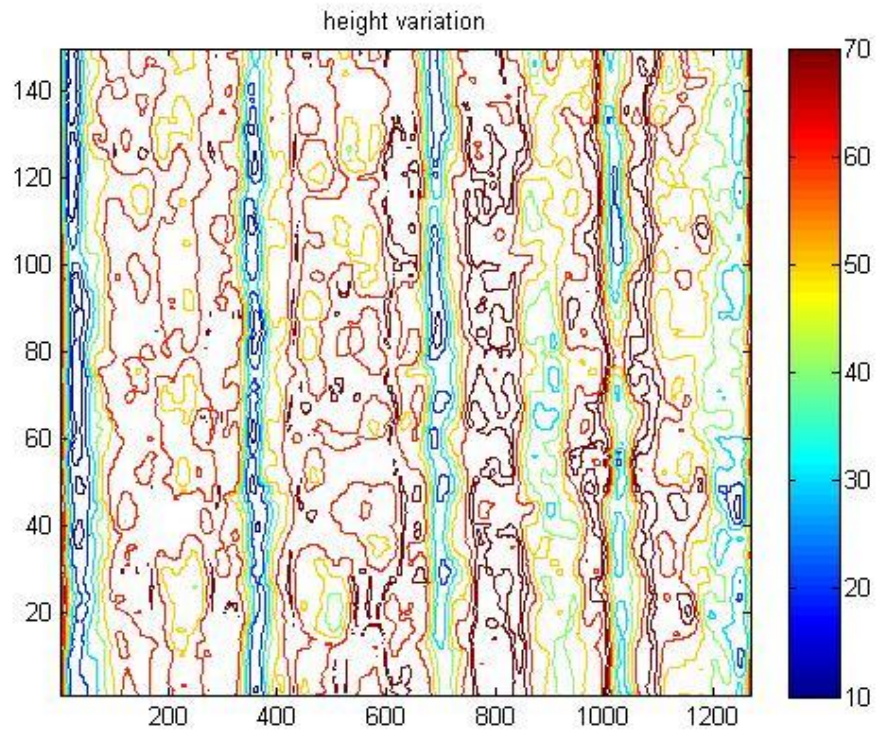
Obr. 22.2 : Zväčšenie výrezu krivky opisujúcej profil povrchu a stredovej čiary profilu: (g) vzorka G, (h) vzorka H.



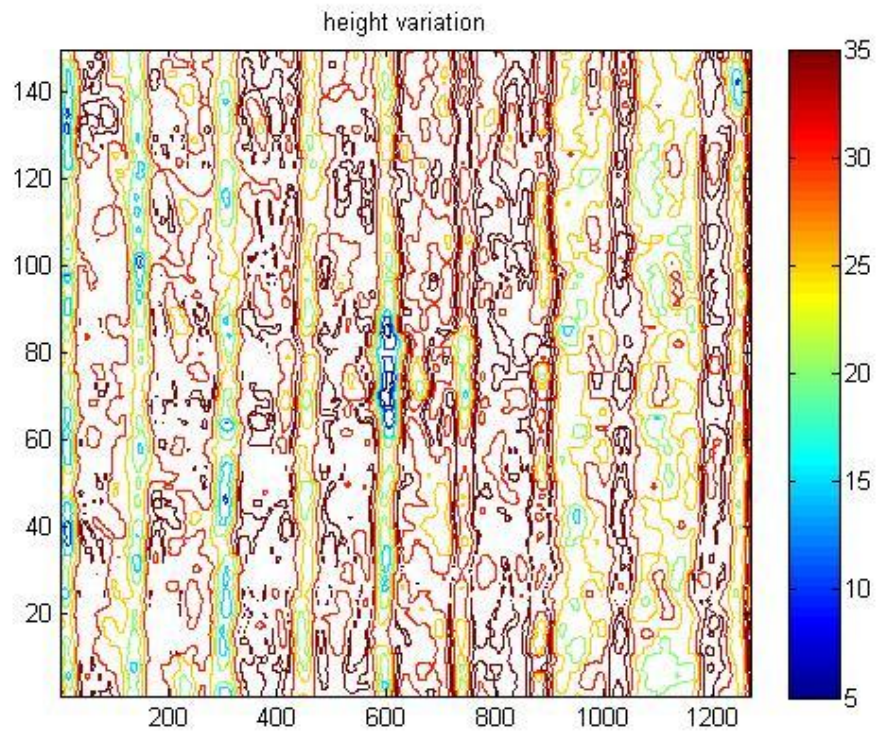
(a)



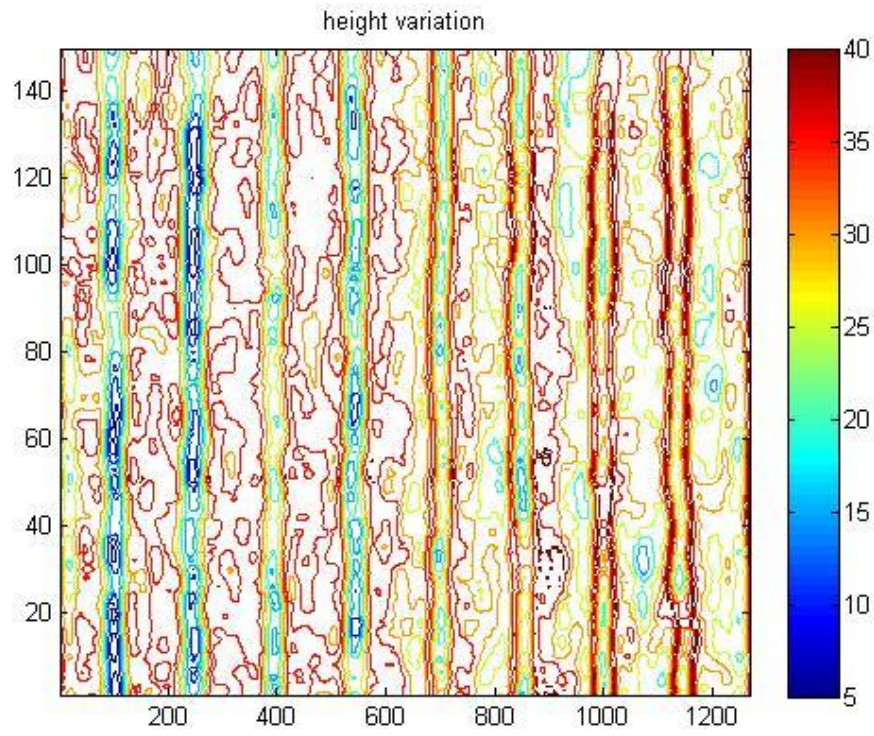
(b)



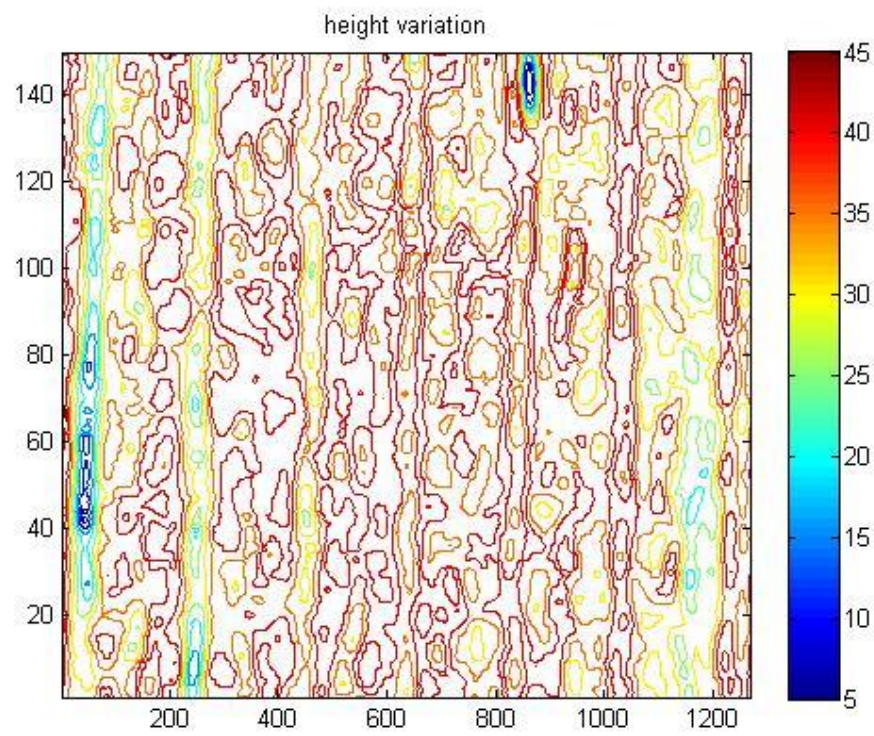
(c)



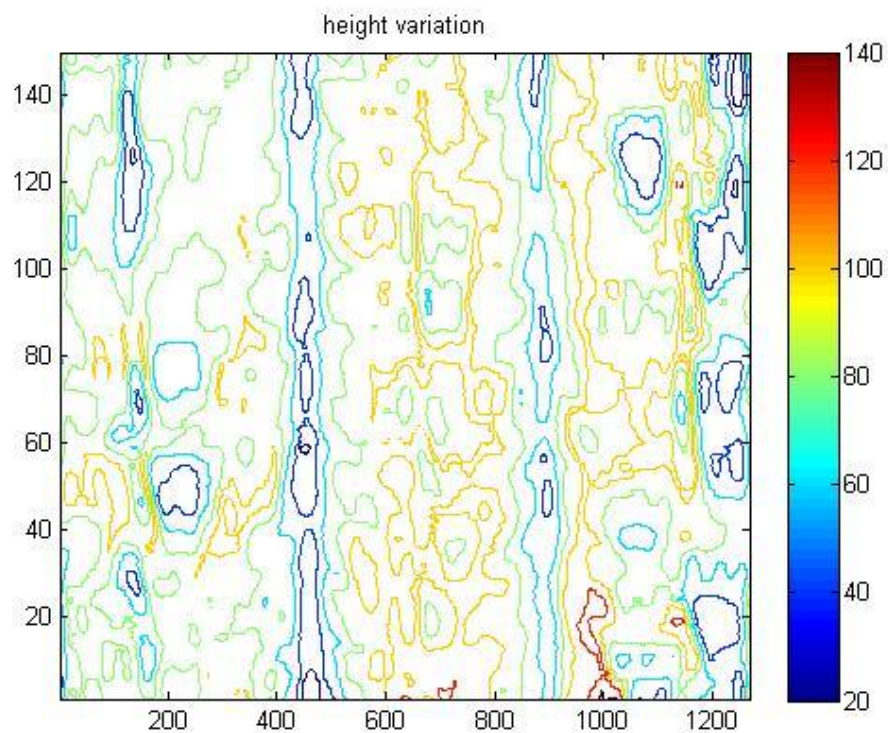
(d)



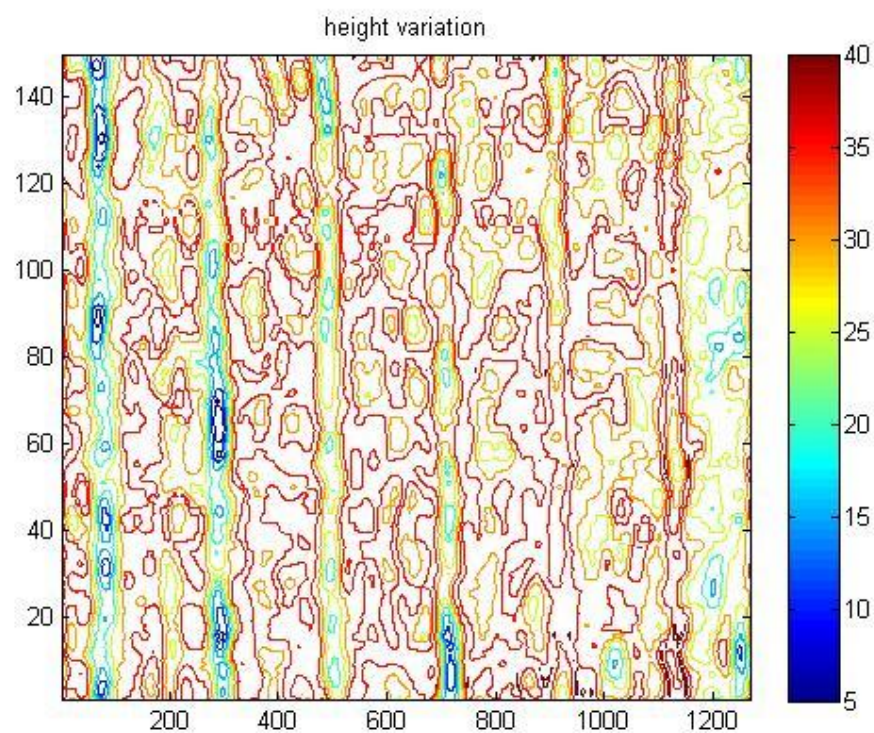
(e)



(f)

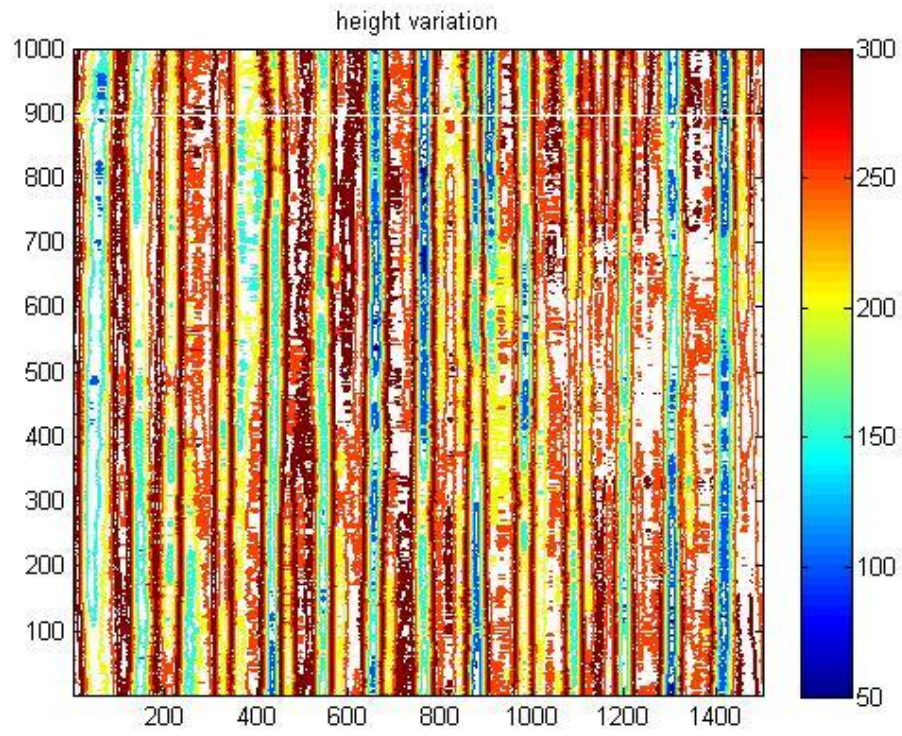


(g)

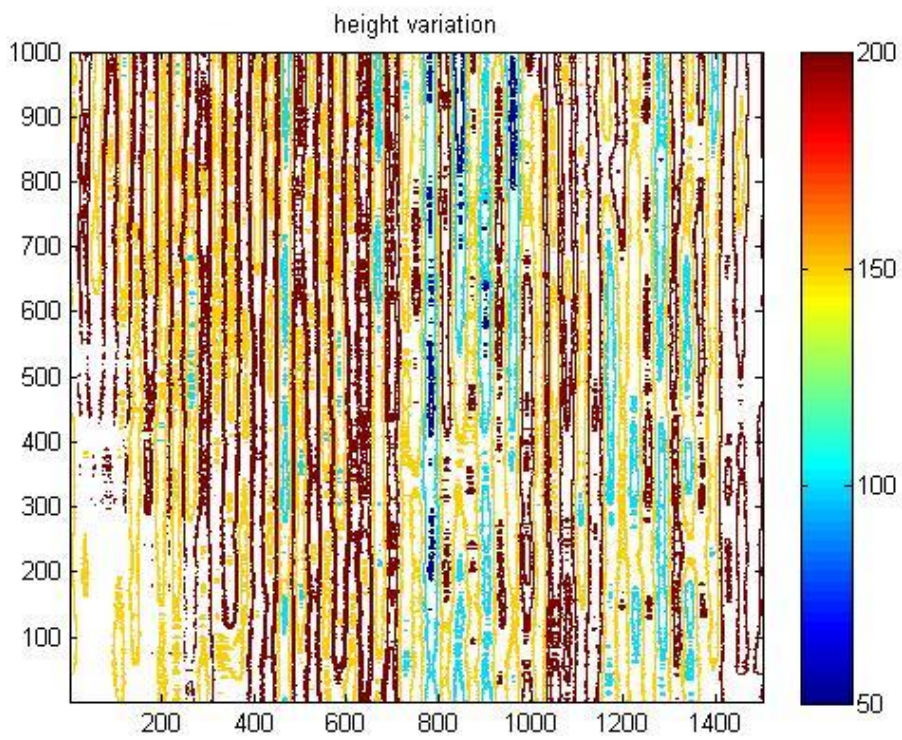


(h)

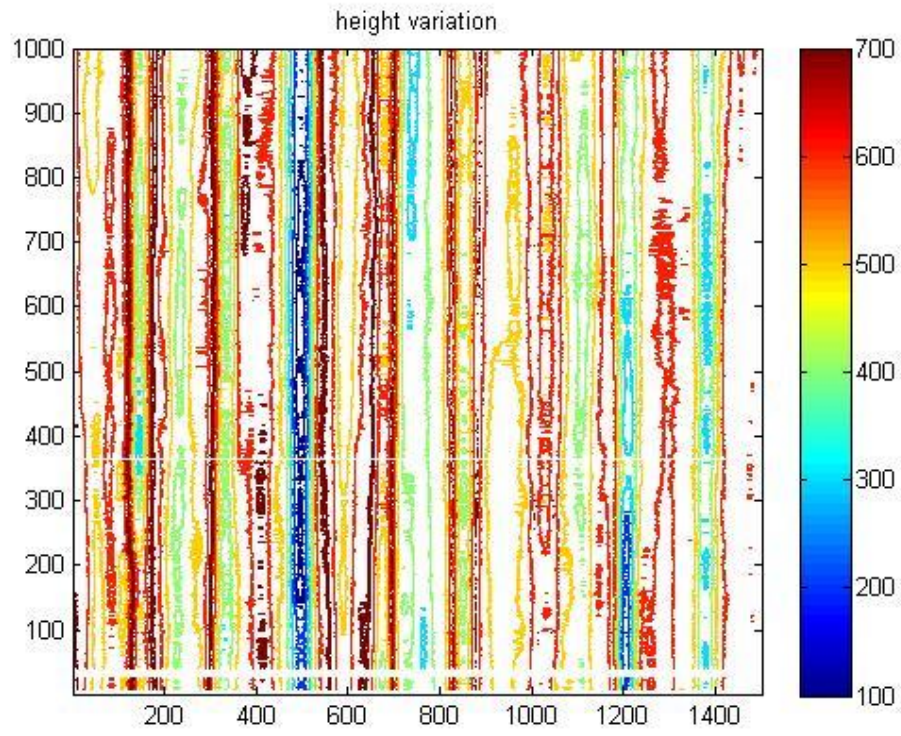
Obr. 23.1: 3D obraz pôdorysnej mapy RCM: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



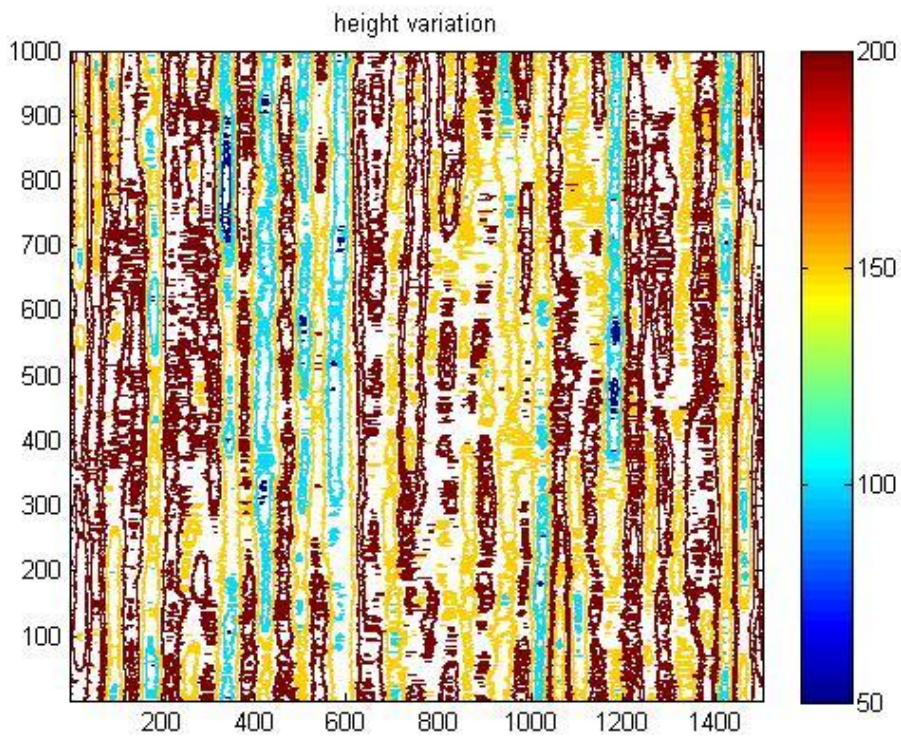
(a)



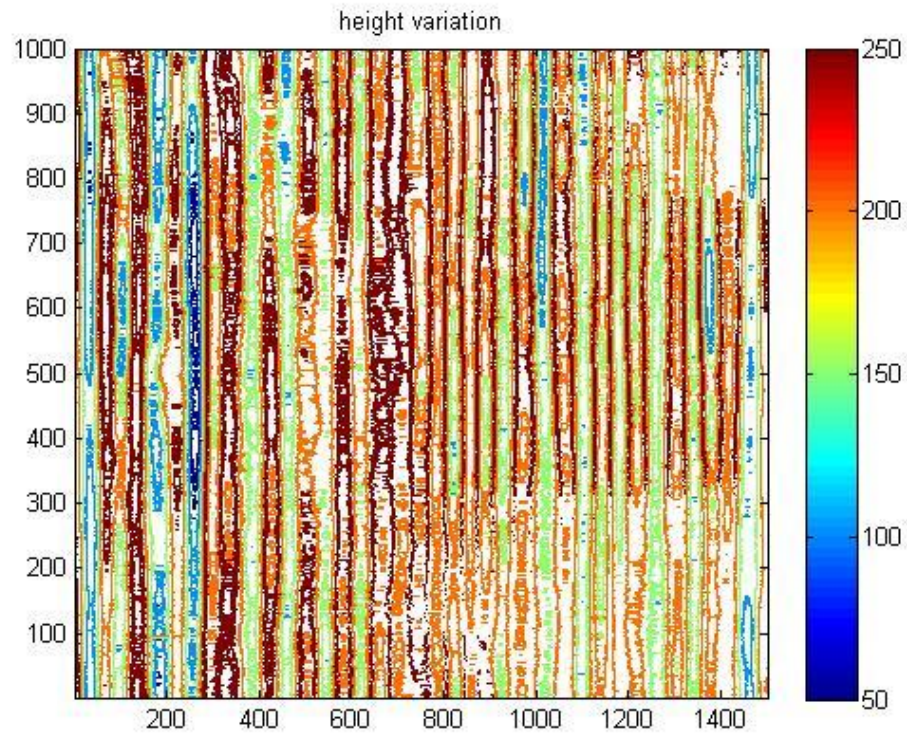
(b)



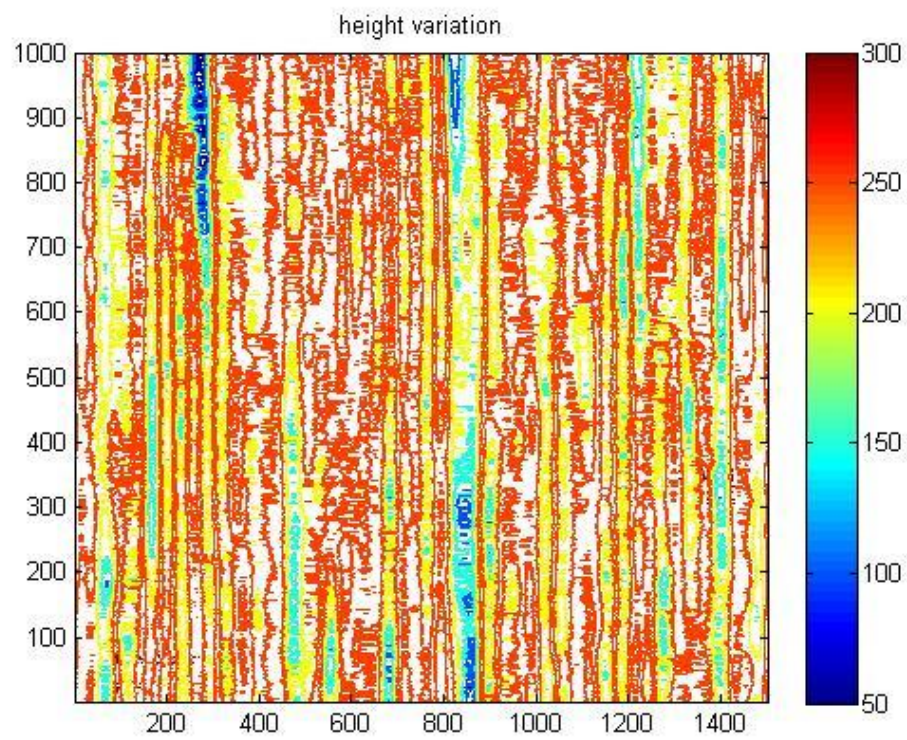
(c)



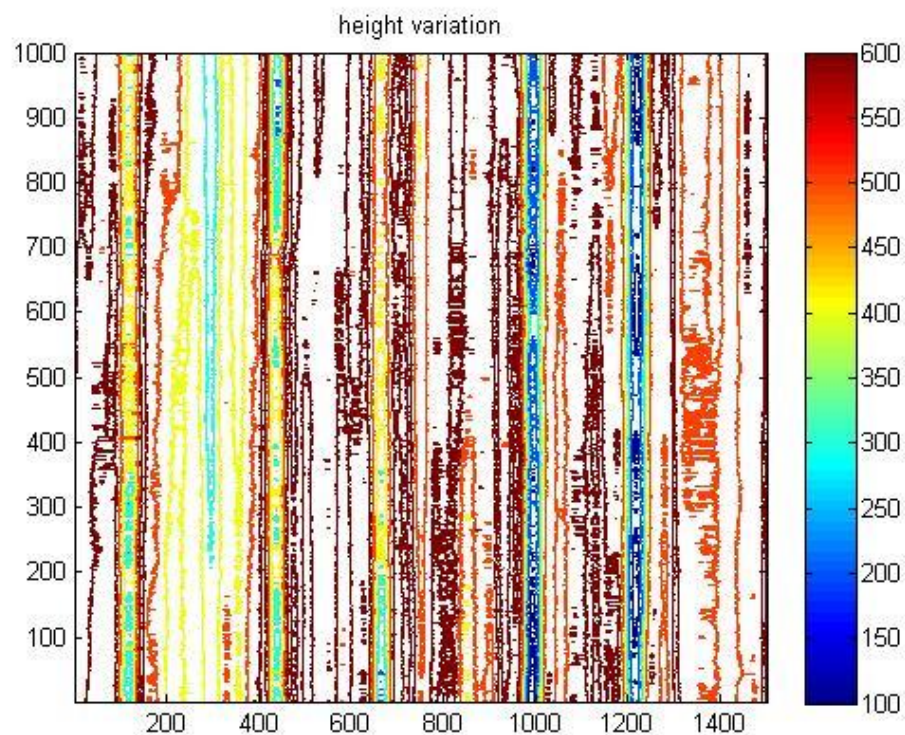
(d)



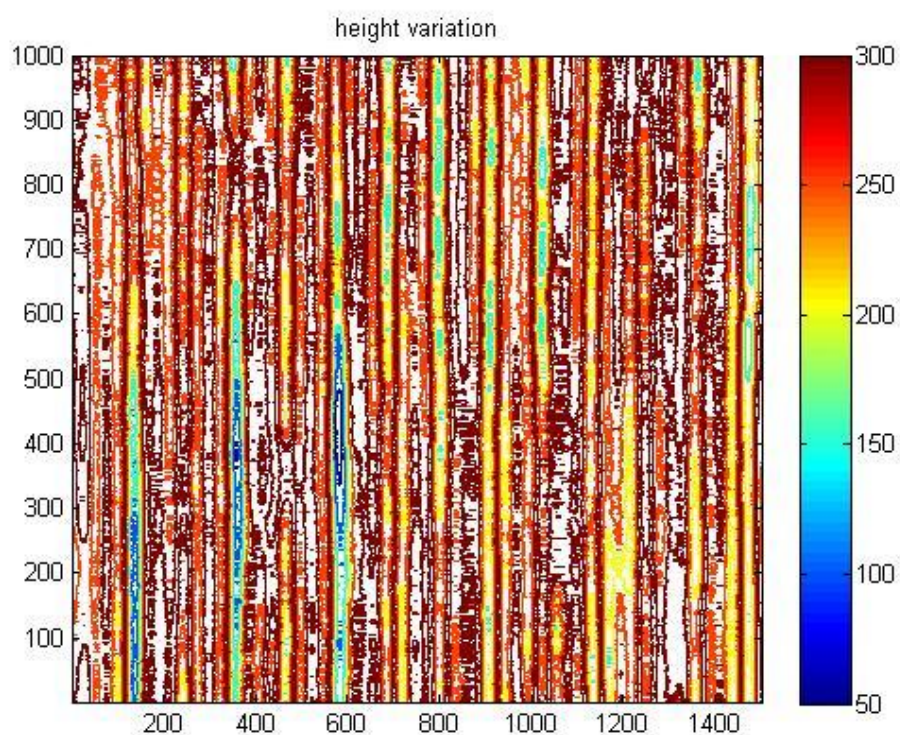
(e)



(f)

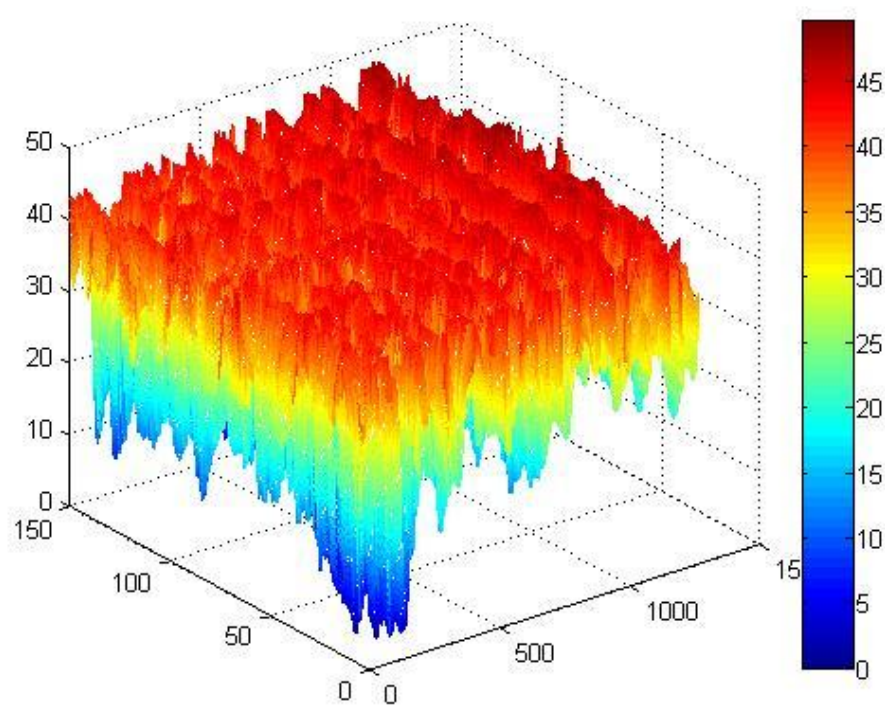


(g)

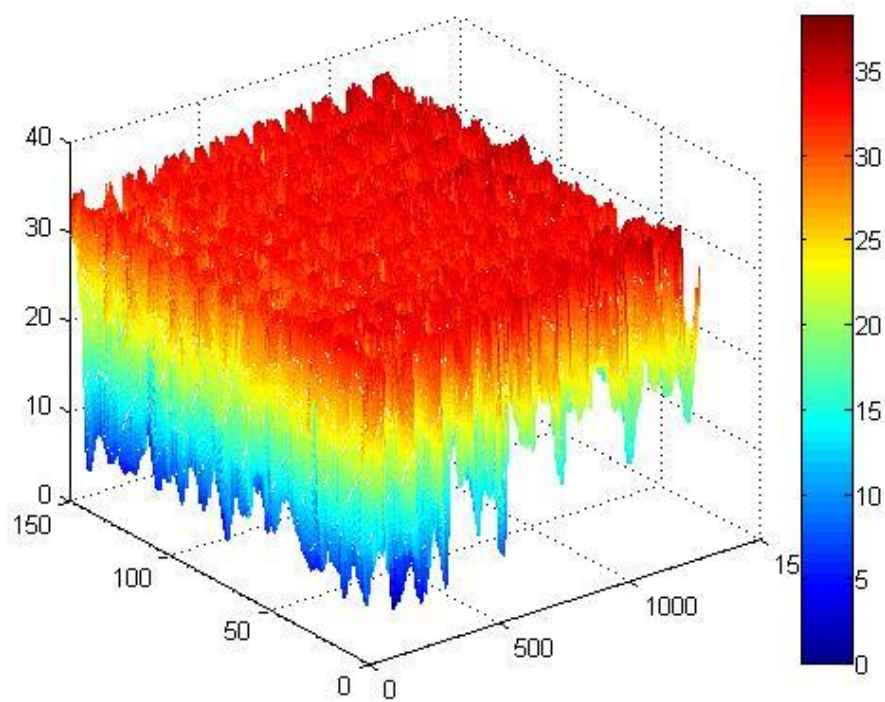


(h)

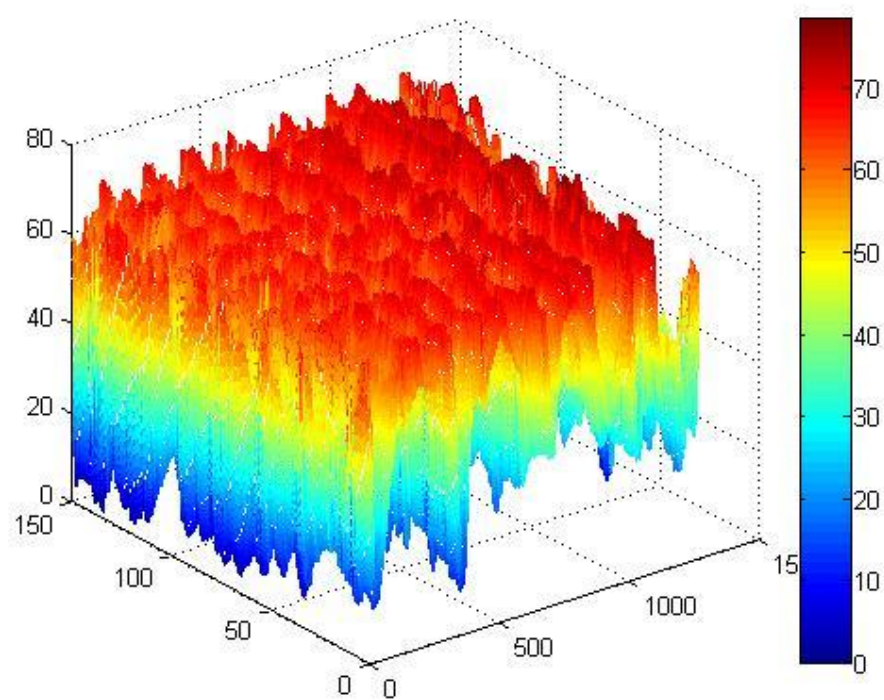
Obr. 23.2: 3D obraz pôdorysnej mapy Talysurf: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



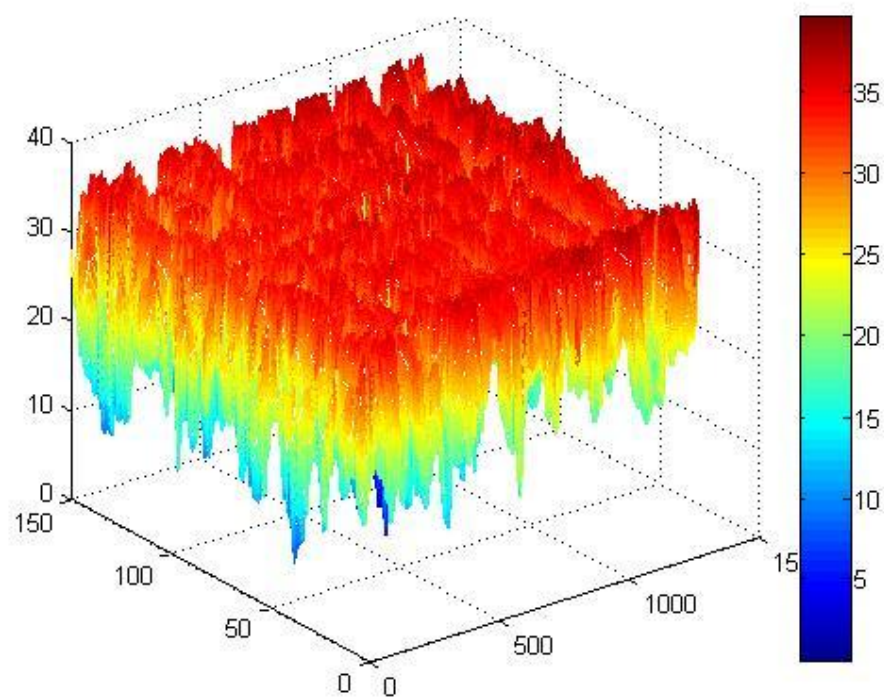
(a)



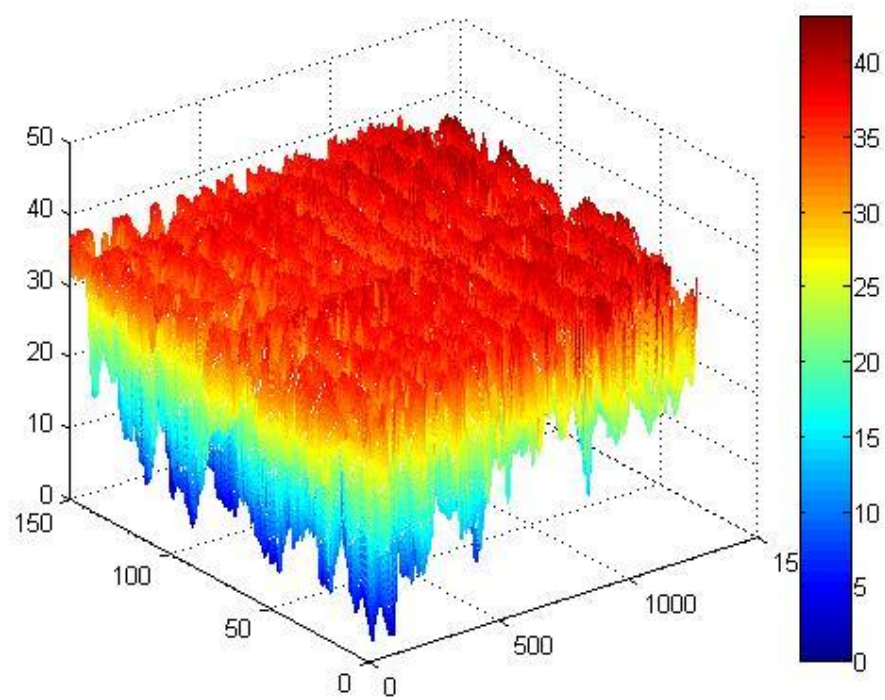
(b)



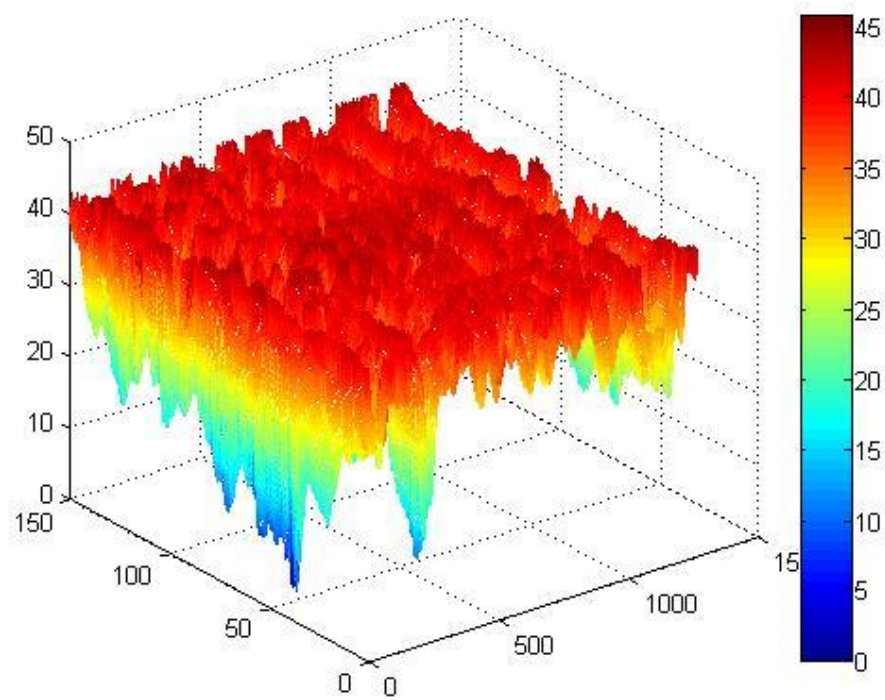
(c)



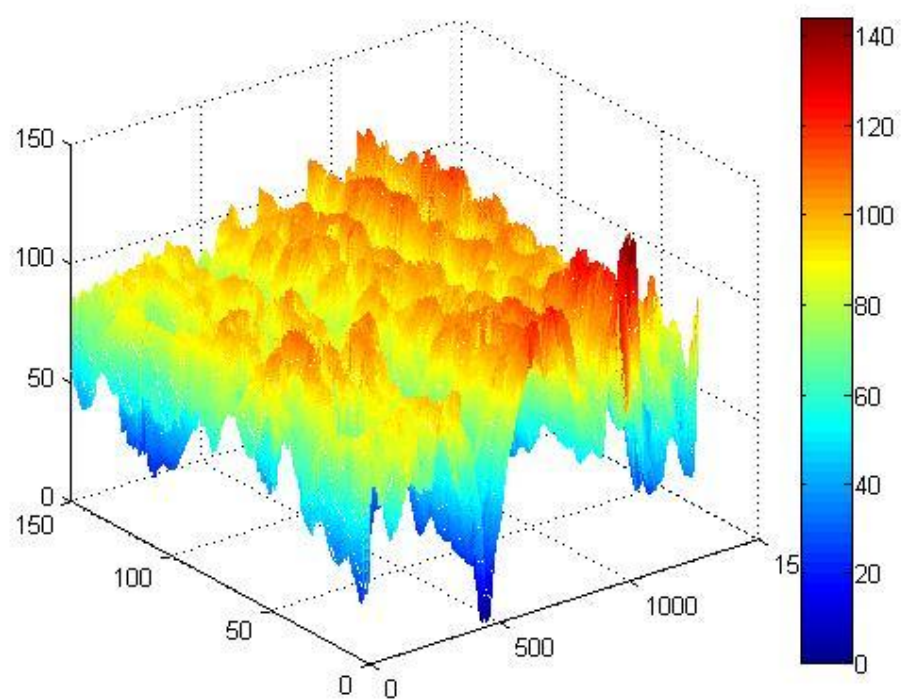
(d)



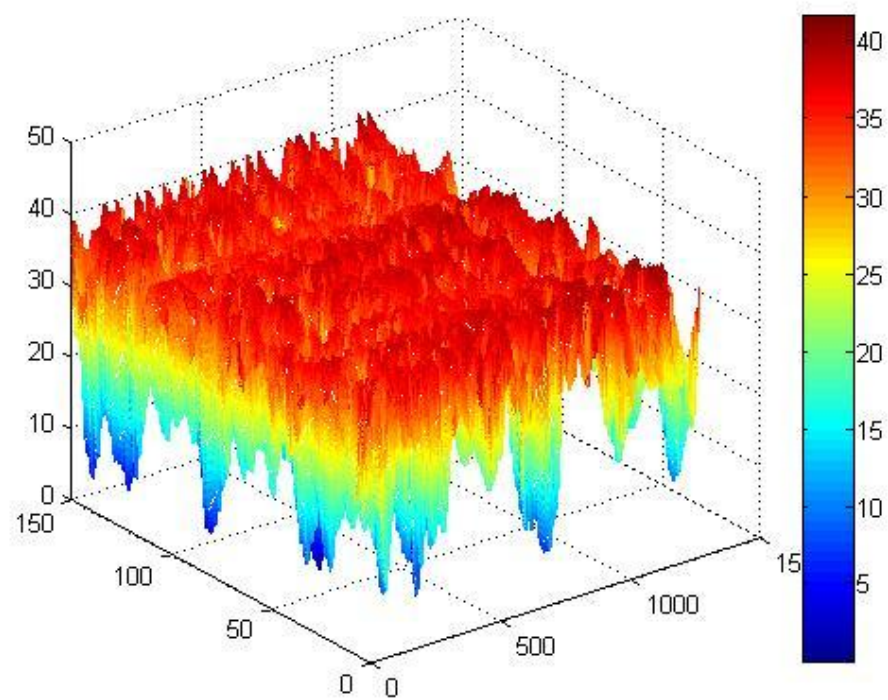
(e)



(f)



(g)



(h)

Obr. 24.1: Pôvodný 3D obraz reliéfu povrchu RCM : (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



(a)



(b)



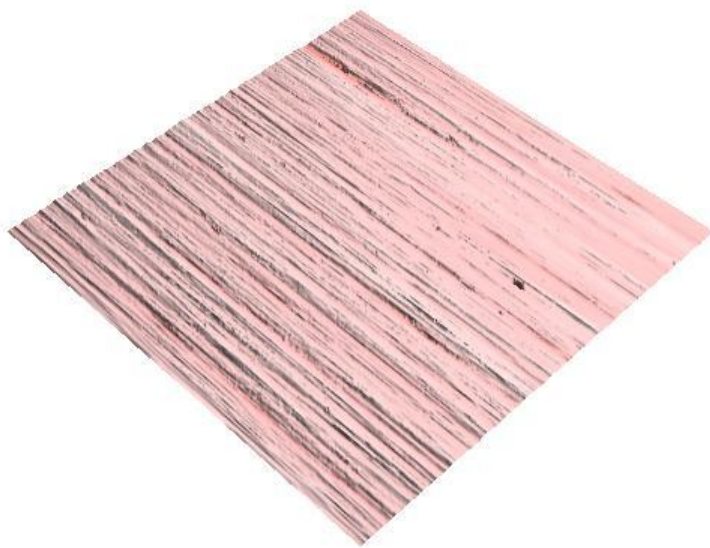
(c)



(d)



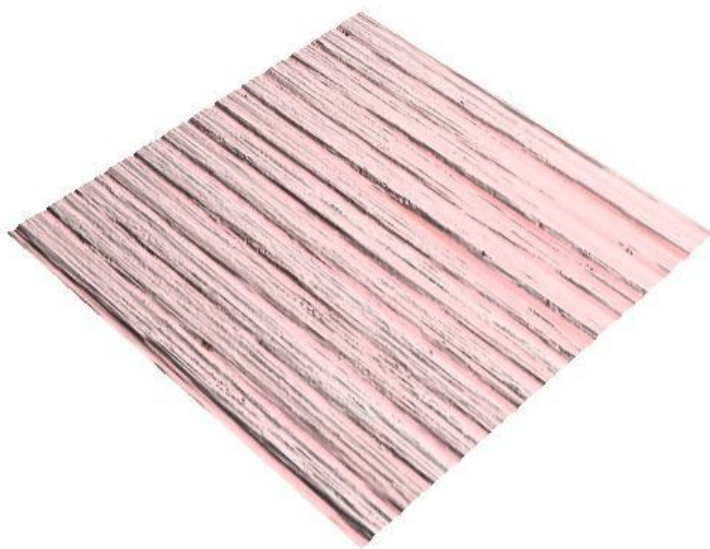
(e)



(f)



(g)

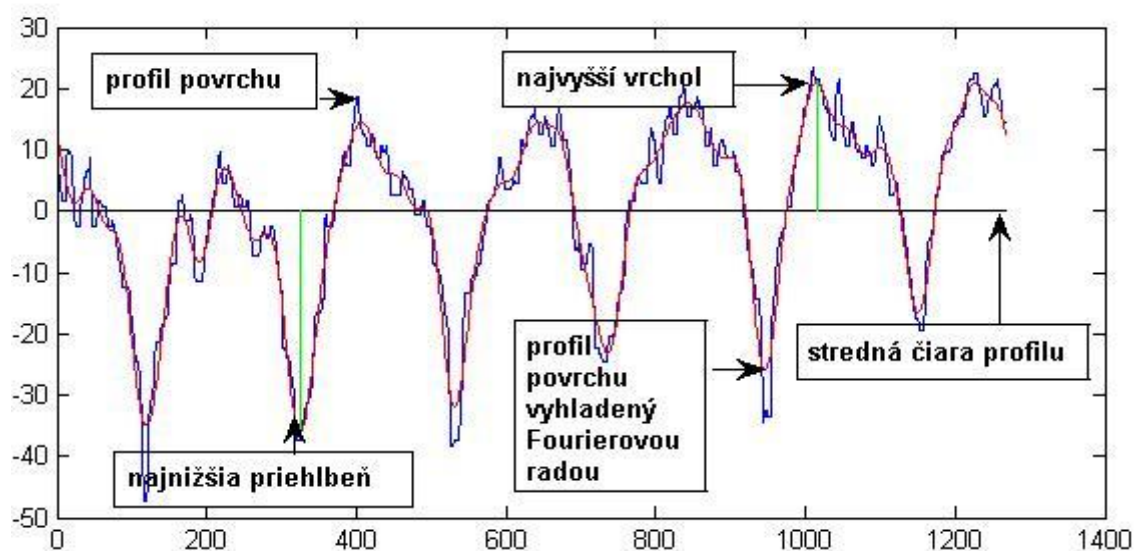


(h)

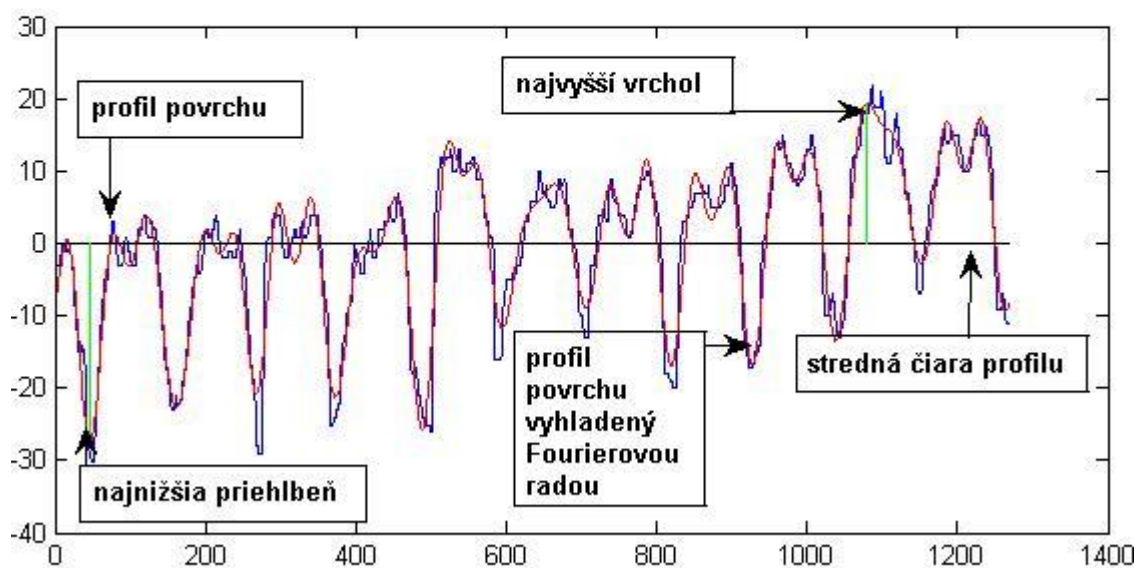
Obr. 24.2: Pôvodný 3D obraz reliéfu povrchu Talysurfu v softwari Talymap: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.

Povrch textílie, resp. reliéf povrchu je rekonštruovaný pomocou skladania kriviek, ktoré opisujú tvar virtuálnych priečných rezov reliéfu povrchu mančestru a pracieho kordu. Všetkých 150 kriviek (zo snímok označených číslami 100- 250) z prístroja RCM a všetkých 1500 kriviek z prístroja Talysurf je zoradených k sebe do 3D útvarov. Výstupom analýzy algoritmov *drsnostRCM.m* a *drsnostT.m* sú grafické zobrazenia jednotlivých charakteristík drsnosti skúmaného reliéfu povrchu textílií so znázornenými výsledkami všetkých jednotlivo nameraných snímok pre všetky merané vzorky, pre oba prístroje a pre konkrétnu charakteristiku zvlášť. Z rekonštruovaného 3D obrazu reliéfu povrchu textilného vzorku sa algoritmom *drsnostRCM.m* pre prístroj RCM a algoritmom *drsnostT.m* pre prístroj Talysurf získa osem štandardných parametrov drsnosti a to stredná aritmetická odchýlka profilu podľa vzťahu (4), výška nerovností z desiatich hodnôt profilu podľa vzťahu (6), najväčšia výška nerovností profilu, stredná rozteč nerovností profilu podľa vzťahu (7), stredná rozteč miestnych výstupkov profilu podľa vzťahu (8), nosný podiel podľa vzťahu (9), priemerná výška vrcholov podľa vzťahu (11), a priemerná výška priehlbni podľa vzťahu (12) [1] [17]. K nameraným štandardným parametrom drsnosti pre detailnejší popis drsnosti povrchu sa používajú i nenormalizované charakteristiky, a to stredná kvadratická odchýlka profilu podľa vzťahu (13), variačný koeficient výšky profilu podľa vzťahu (15), priemerný štvorec smernice profilu podľa vzťahu (16), priemerná krivosť profilu podľa vzťahu (17), a priemerná smernica profilu podľa vzťahu (18). Na obrázku 25.1 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)) u prístroja RCM a na obrázku 25.2 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)) u prístroja Talysurf je vynesенý profil drsnosti povrchu, ktorý sa značil modrou farbou, červenou farbou je označený profil vzorky po použití prvých 30 harmonických čísel Fourierovej transformácie, kde Fourierova transformácia vyhladí krivky, čiernou farbou je označená stredná čiara profilu, zelenou čiarou je označený najvyšší vrchol a najnižšia priehlbňa vzorky. Výsledky merania prístrojom RCM sú zobrazené v 3D obrazoch reliéfu (obr. 26 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)), kde obraz je bez úprav, na ďalšom obrázku (obr.27 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)) je 3D obraz profilu, ktorý vznikne použitím Fourierovej transformácie. Pre oba prístroje sa nastavili rovnaké uhly pohľadu -13° a 72° , ktoré sú najoptimálnejšie pre ukážku 3D profilu meranej vzorky. Výsledky merania prístrojom Talysurf sú tiež zobrazené bez úprav (obr. 28 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)) a po použití Fourierovej transformácie (obr. 29 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)). Namerané výsledky porovnávaní medzi prístrojmi sú pre vzorky zhrnuté v nasledujúcich tabuľkách

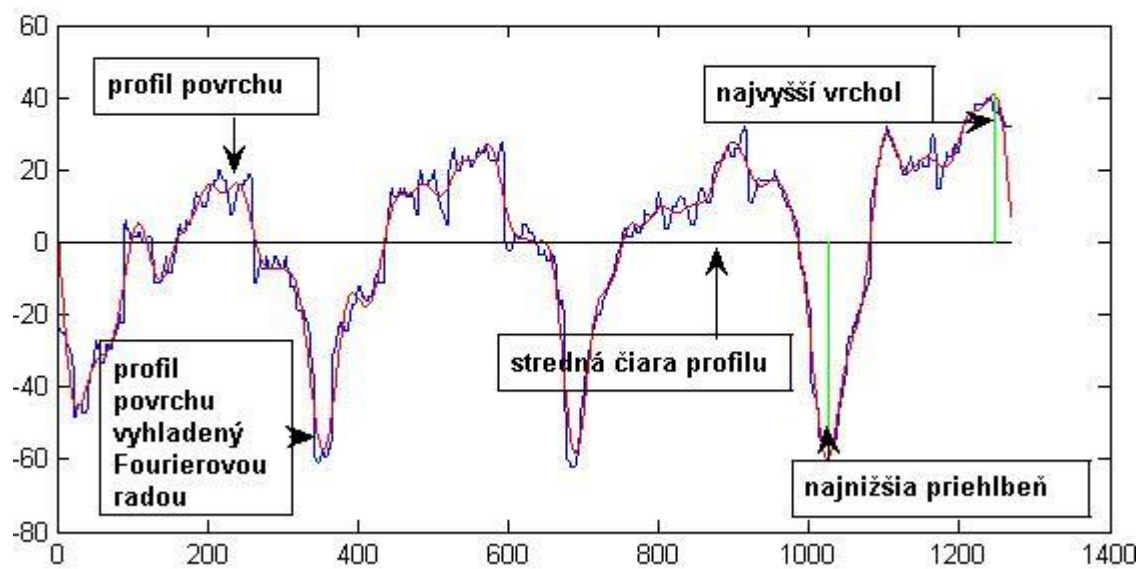
č.5,6,7,8,9,10,11,12, kde značí priemer a 95% IS značí interval spoľahlivosti a v zátvorkách sú uvedené horné a dolné medze pre jednotlivé charakteristiky.



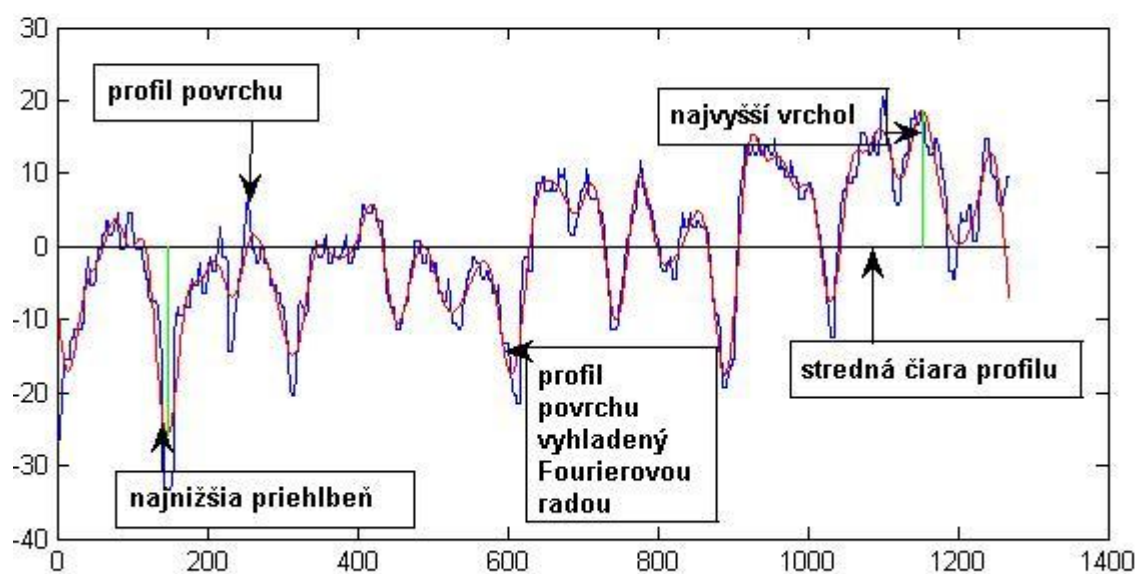
(a)



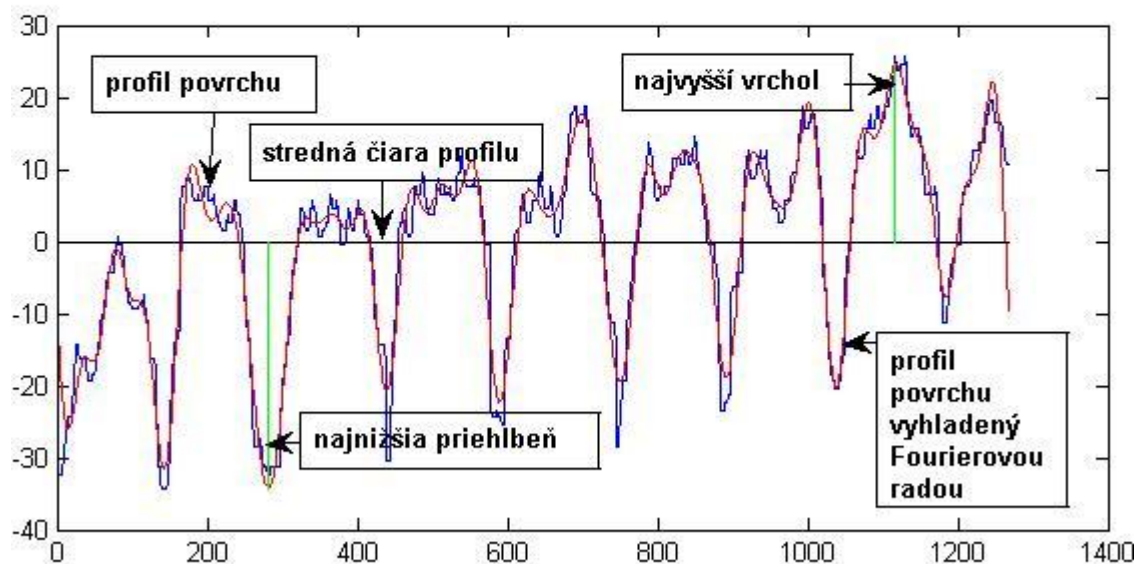
(b)



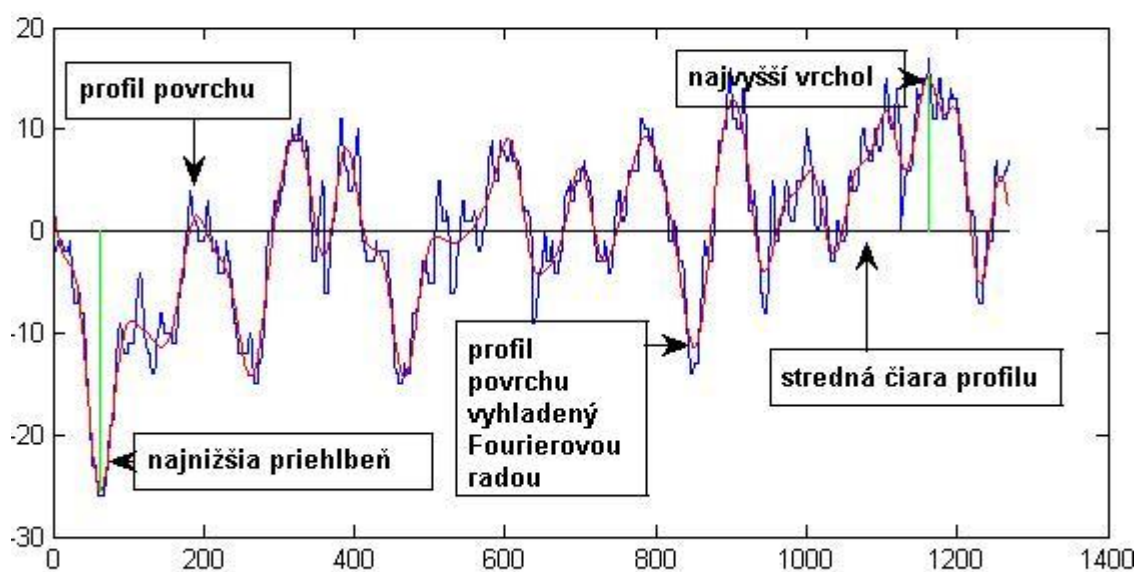
(c)



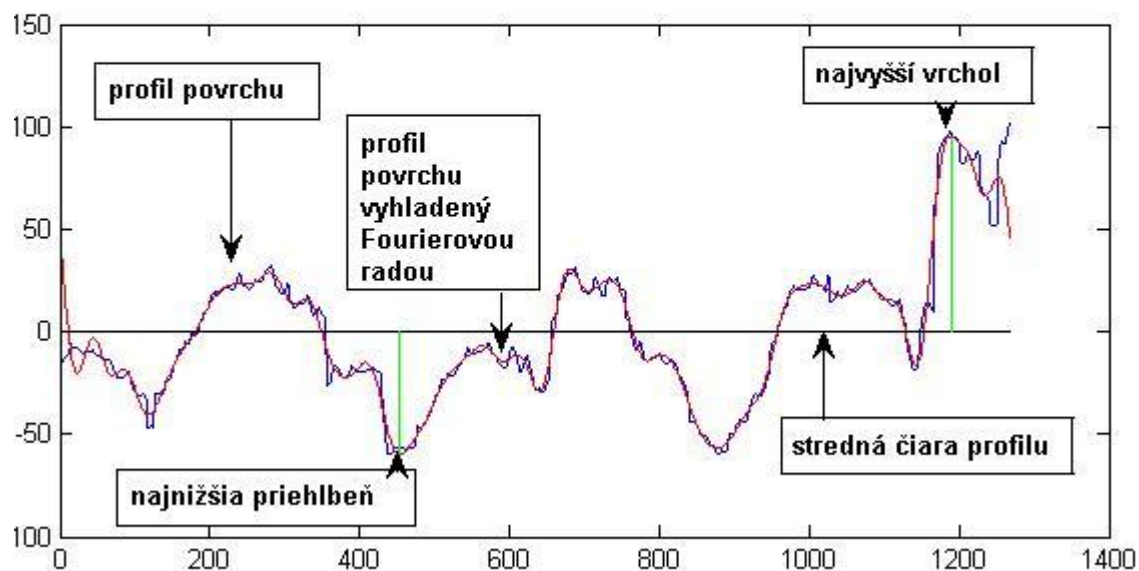
(d)



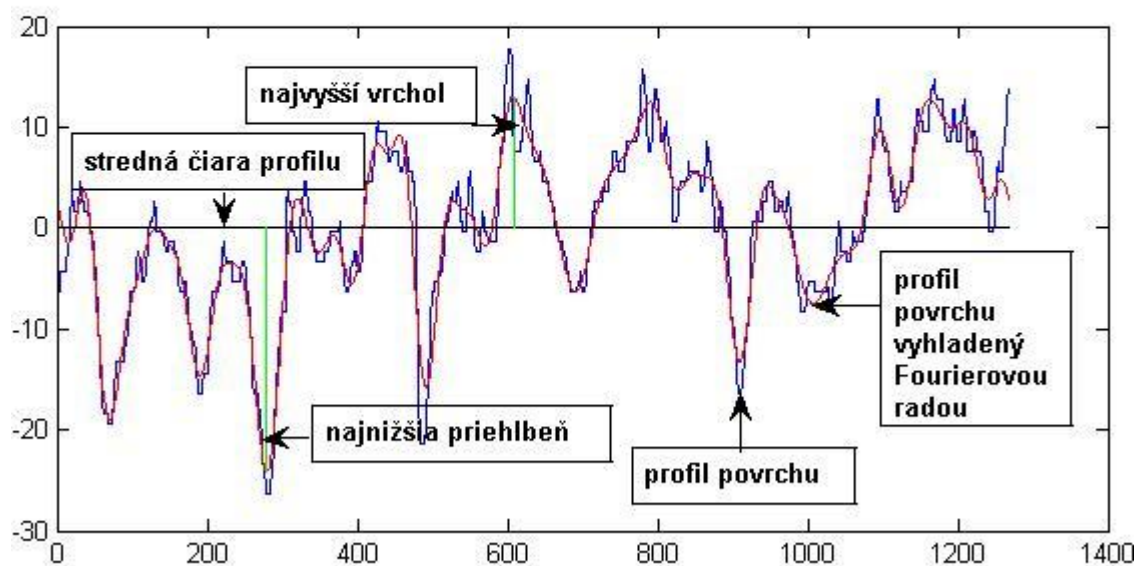
(e)



(f)

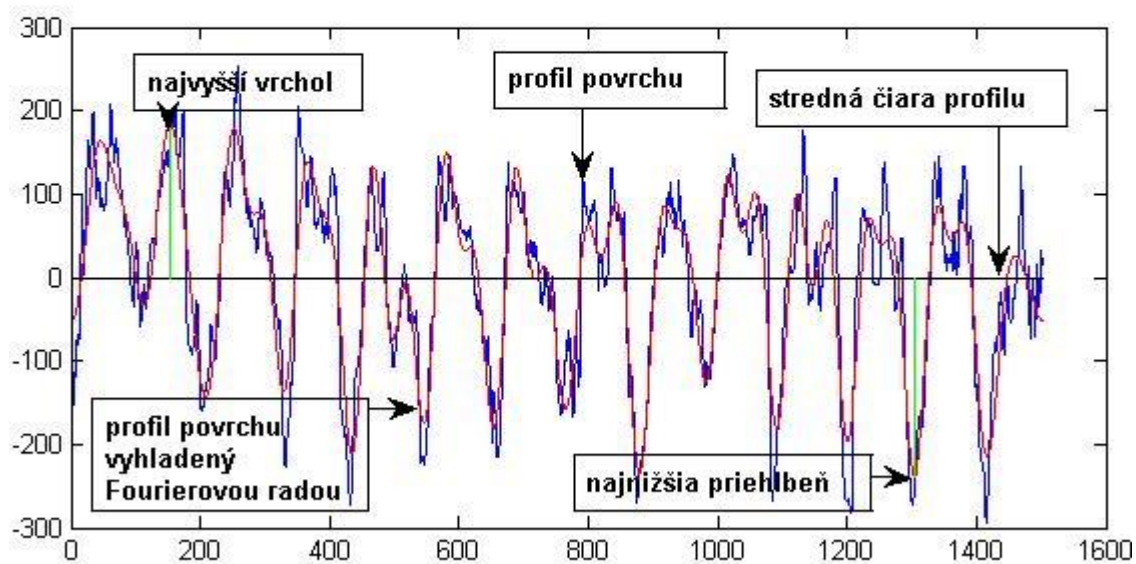


(g)

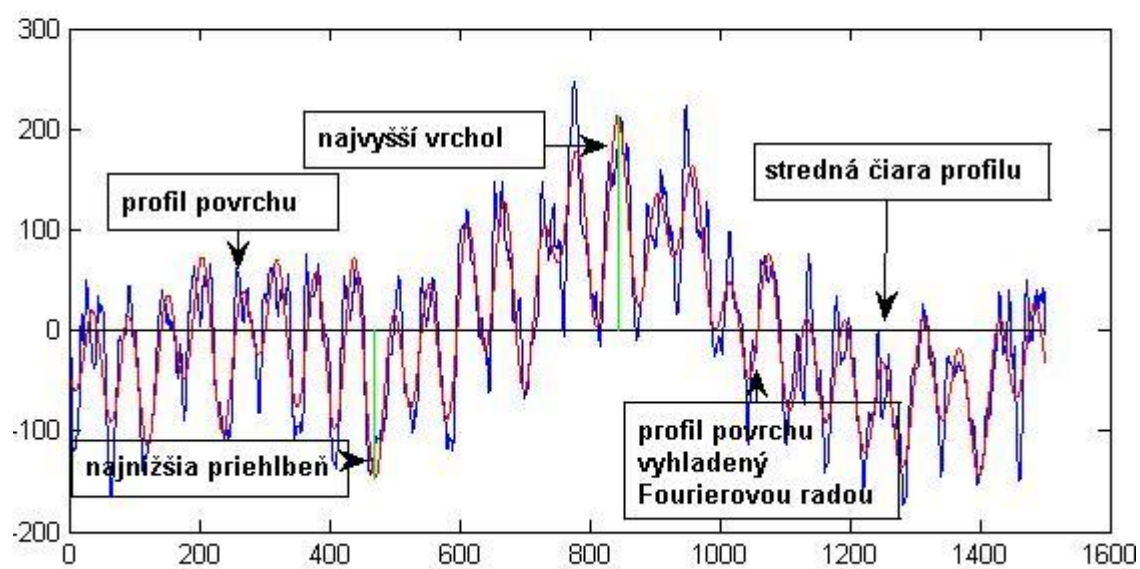


(h)

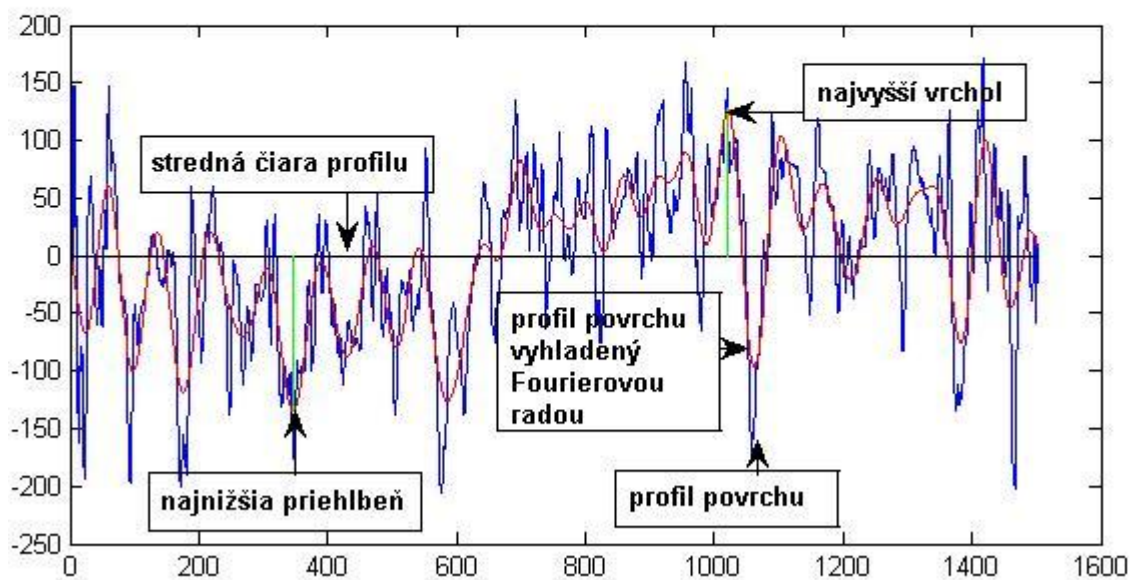
Obr. 25.1: Profil nameranej vzorky RCM: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



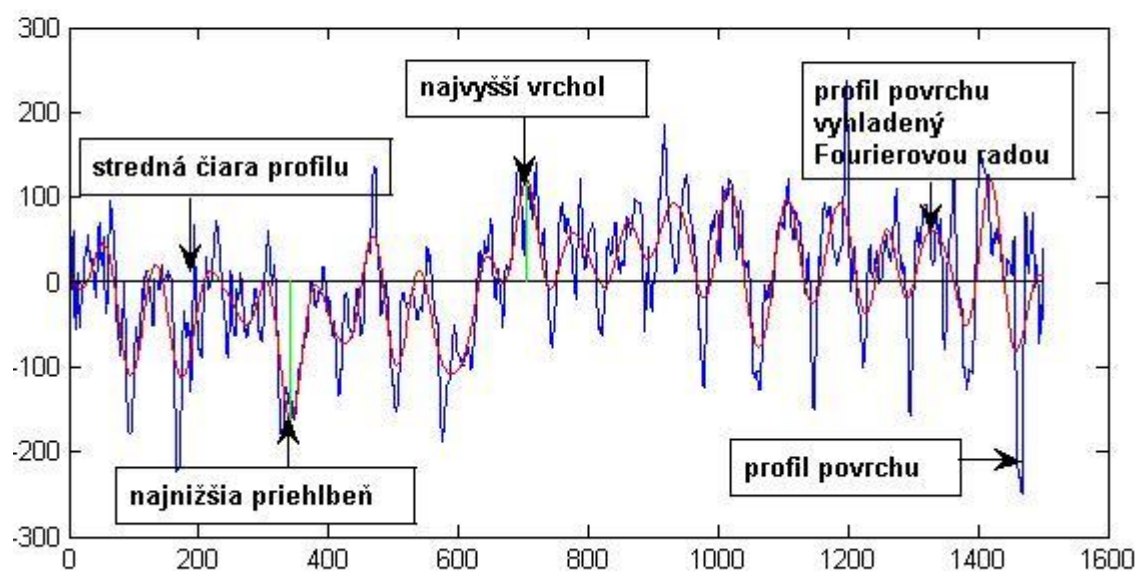
(a)



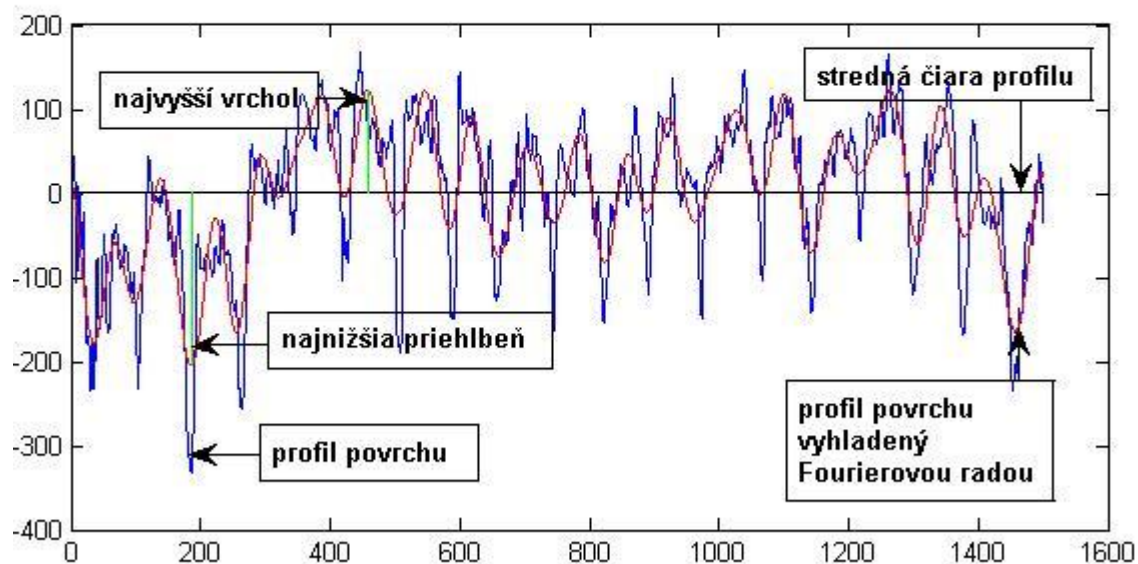
(b)



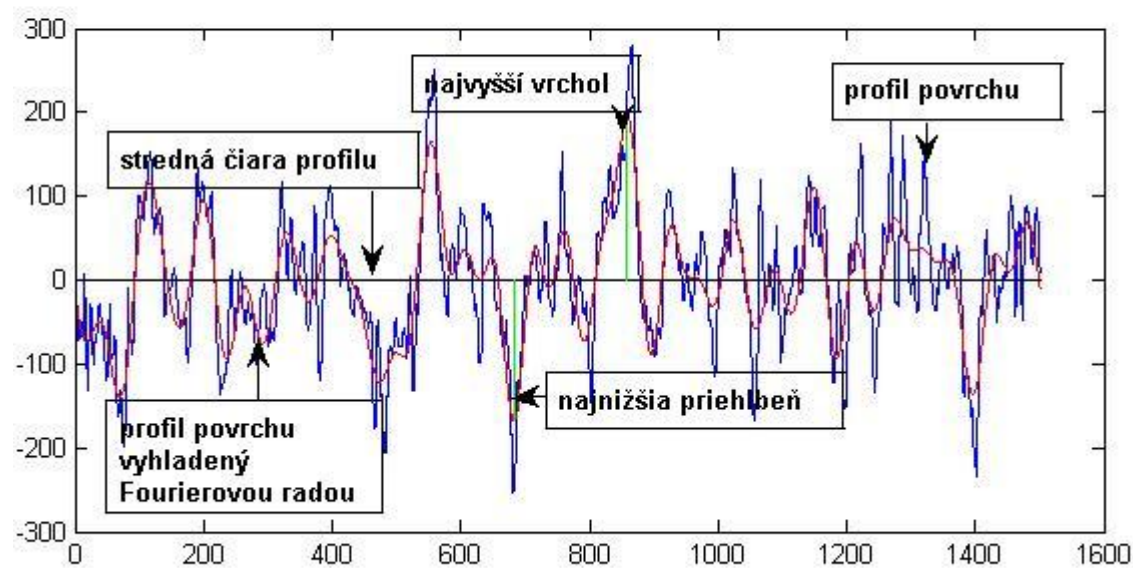
(c)



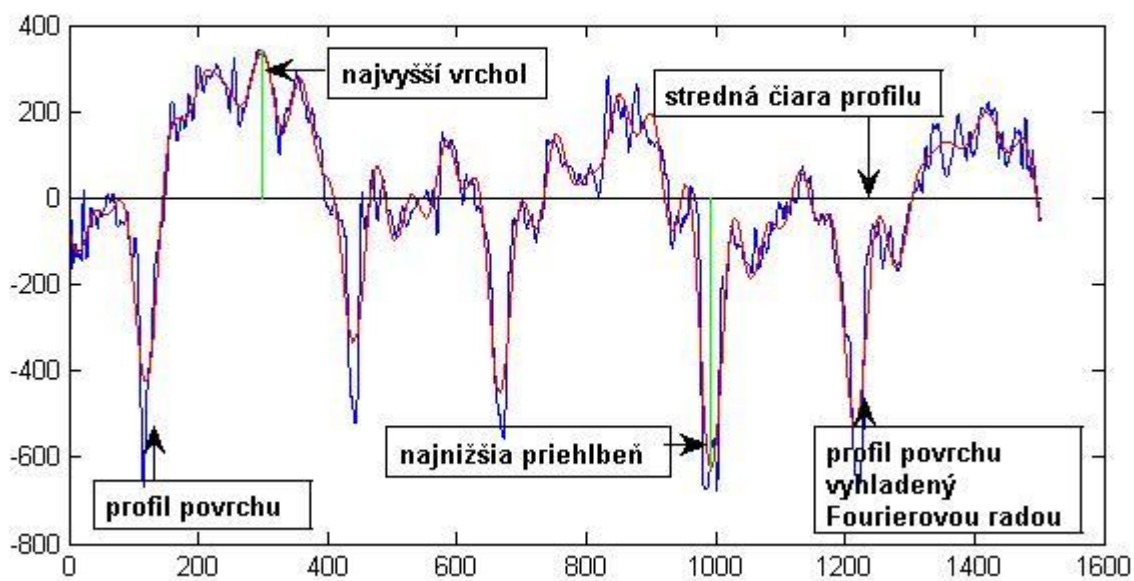
(d)



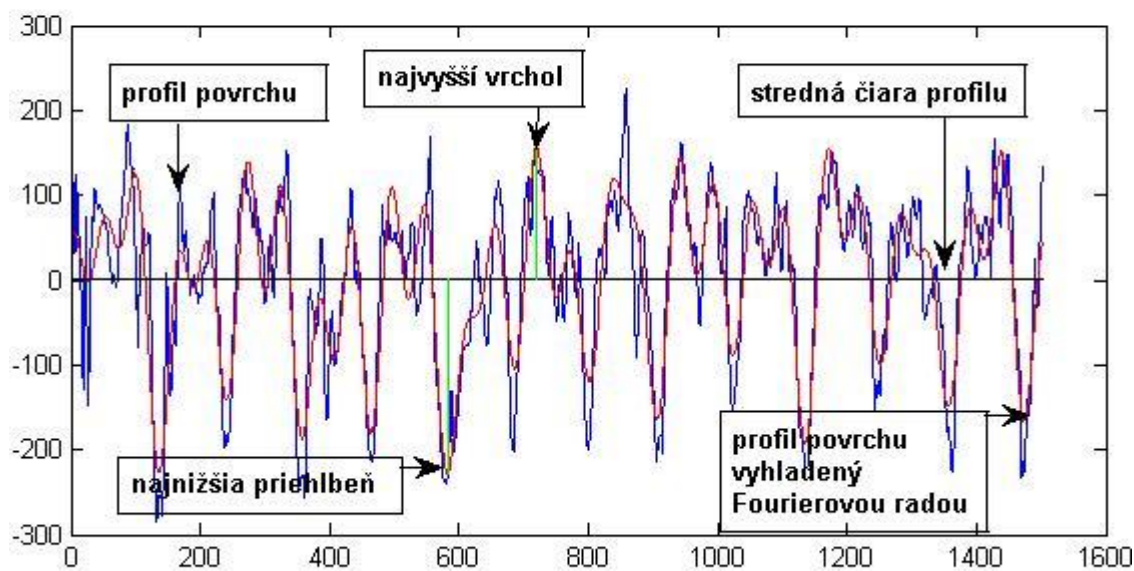
(e)



(f)

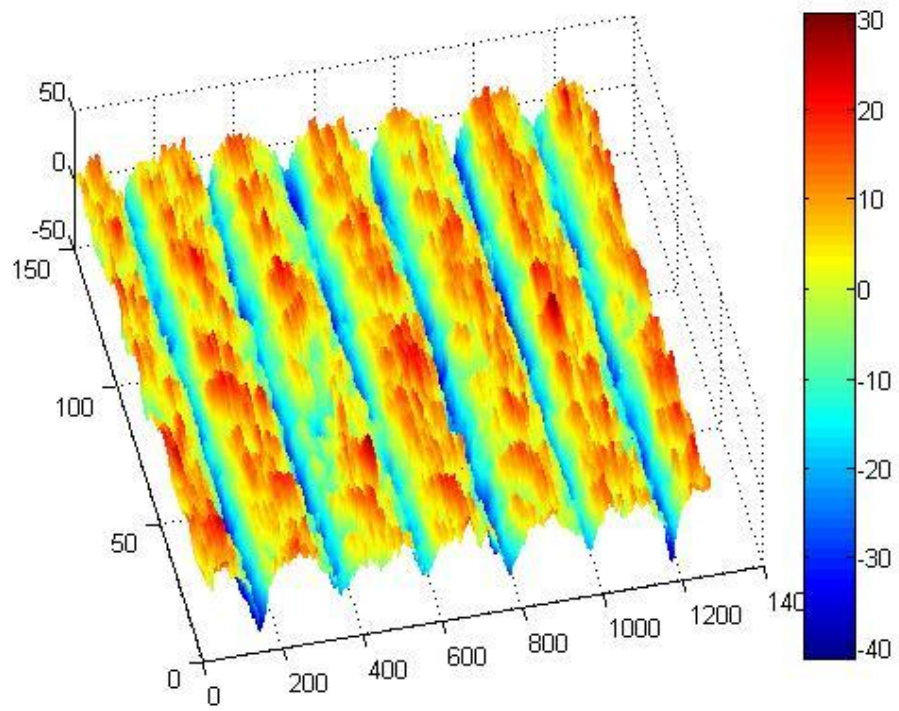


(g)

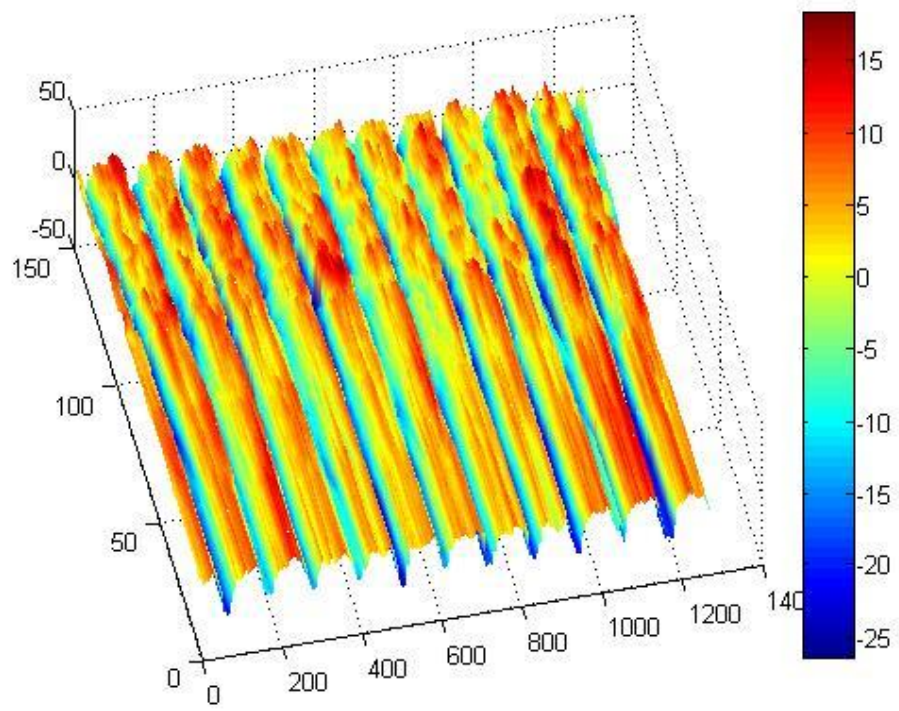


(h)

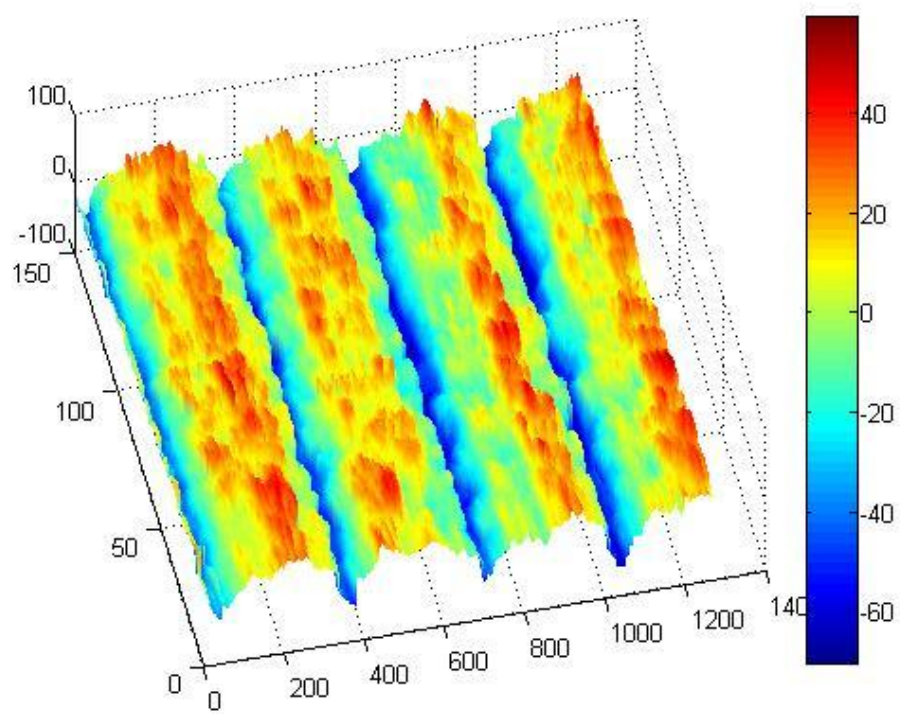
Obr. 25.2: Profil nameranej vzorky Talysurf: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



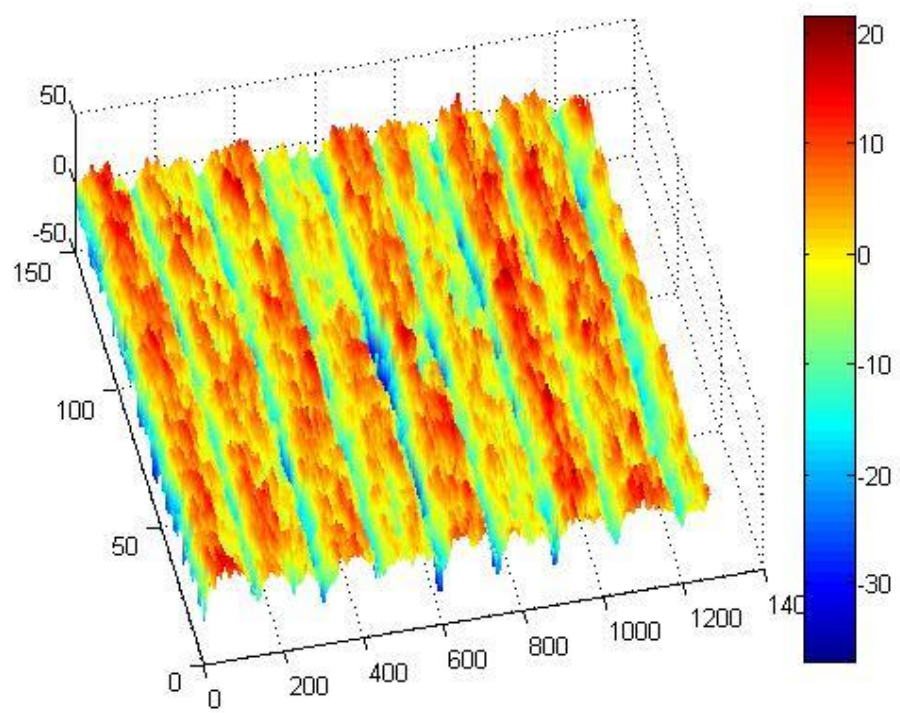
(a)



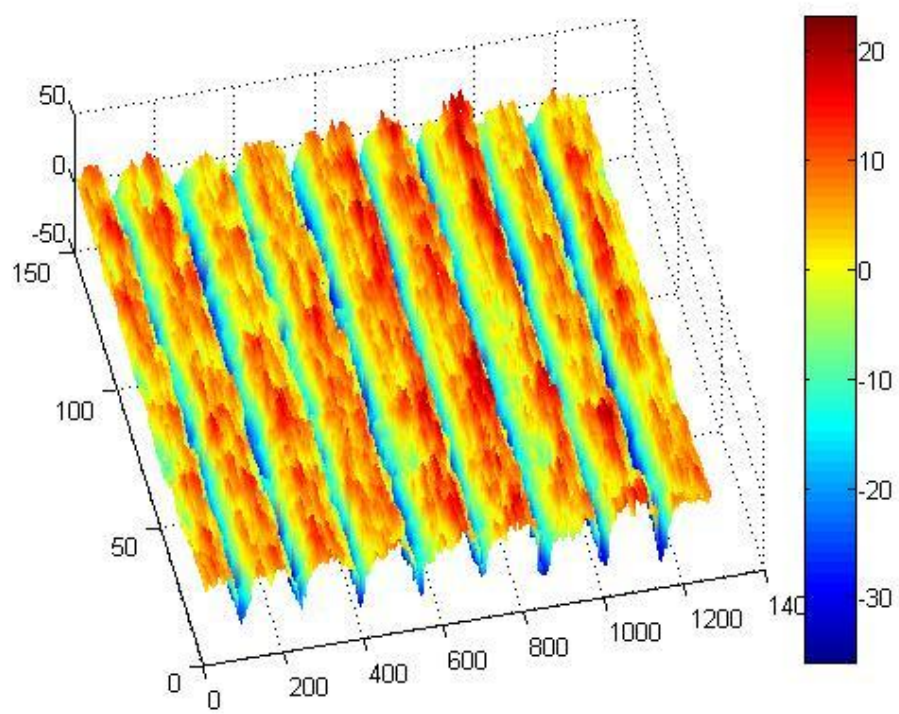
(b)



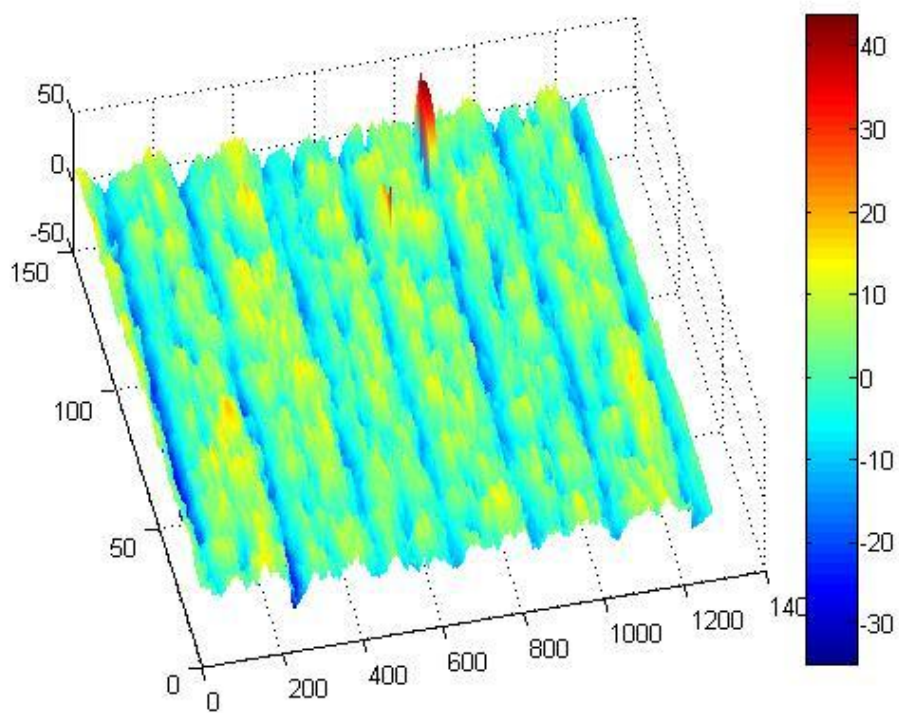
(c)



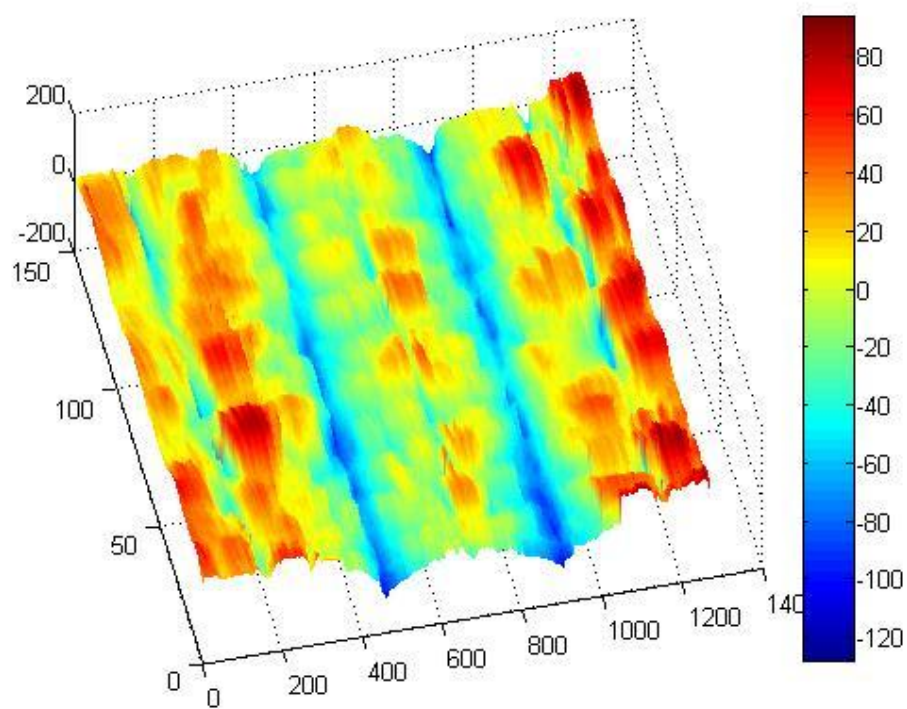
(d)



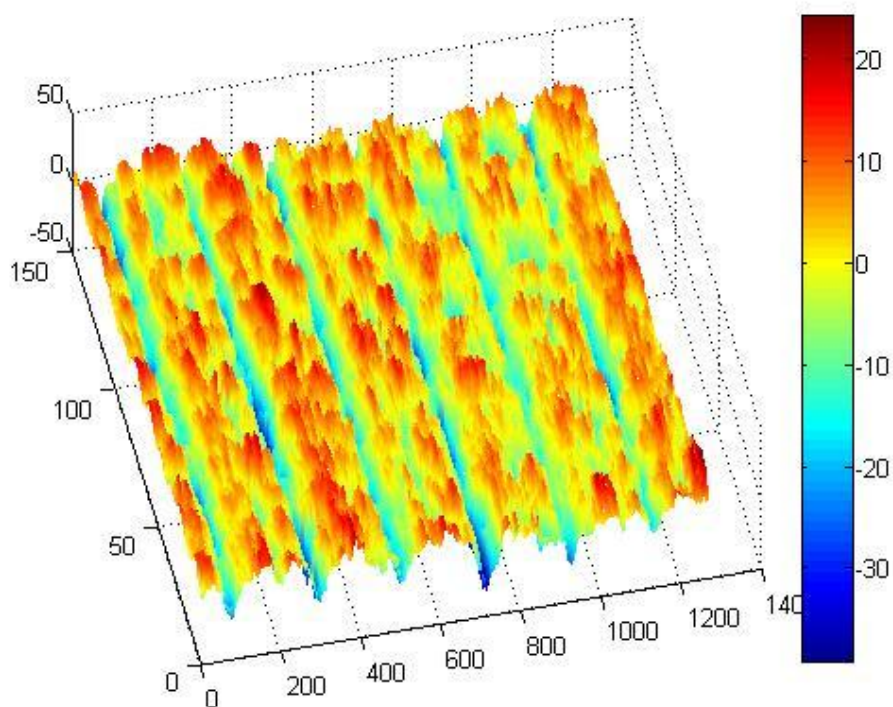
(e)



(f)

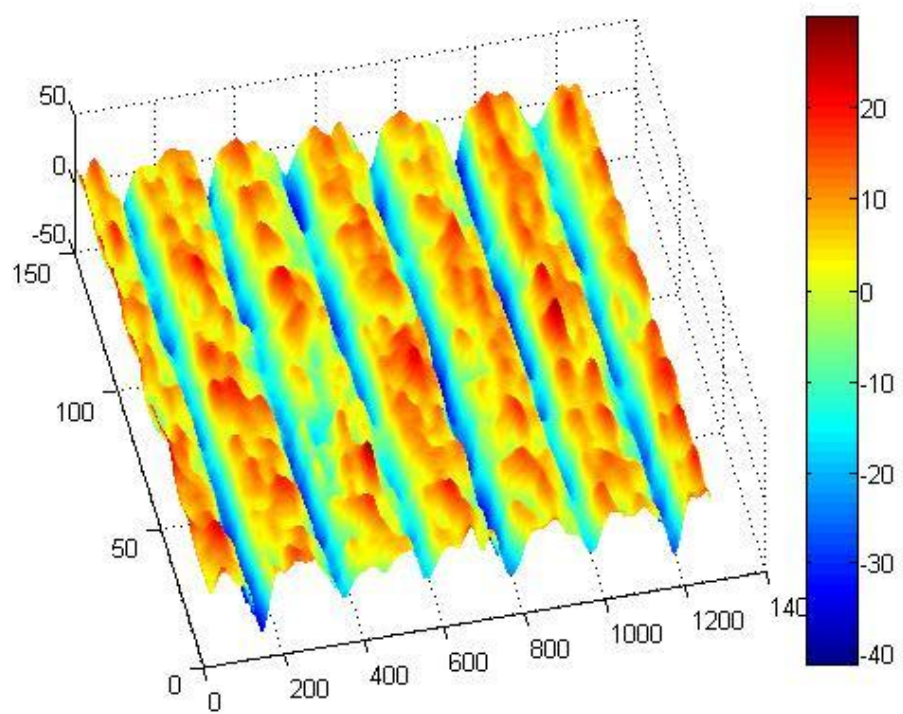


(g)

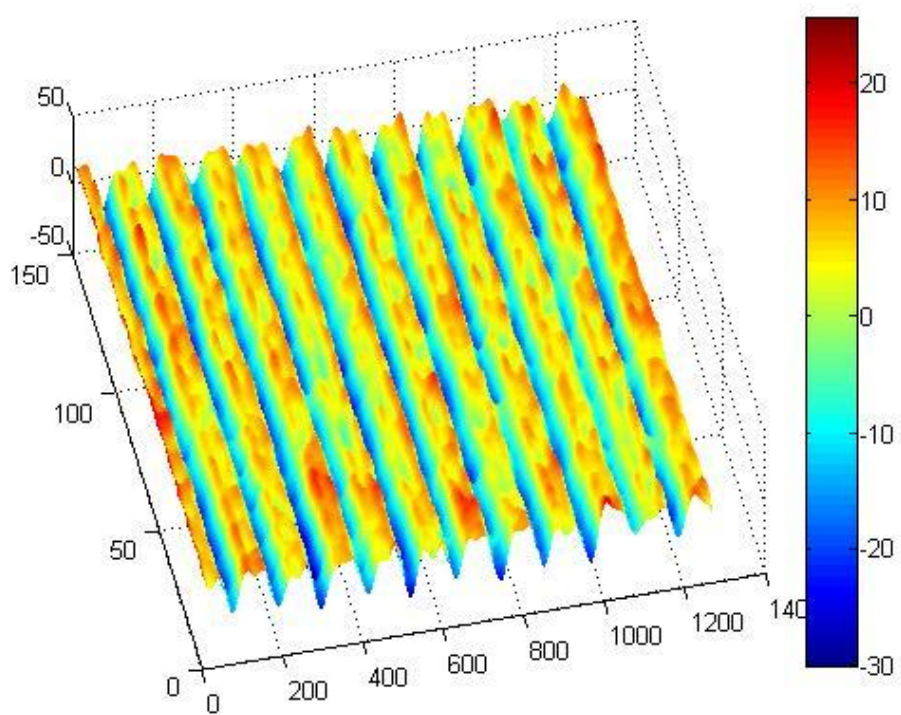


(h)

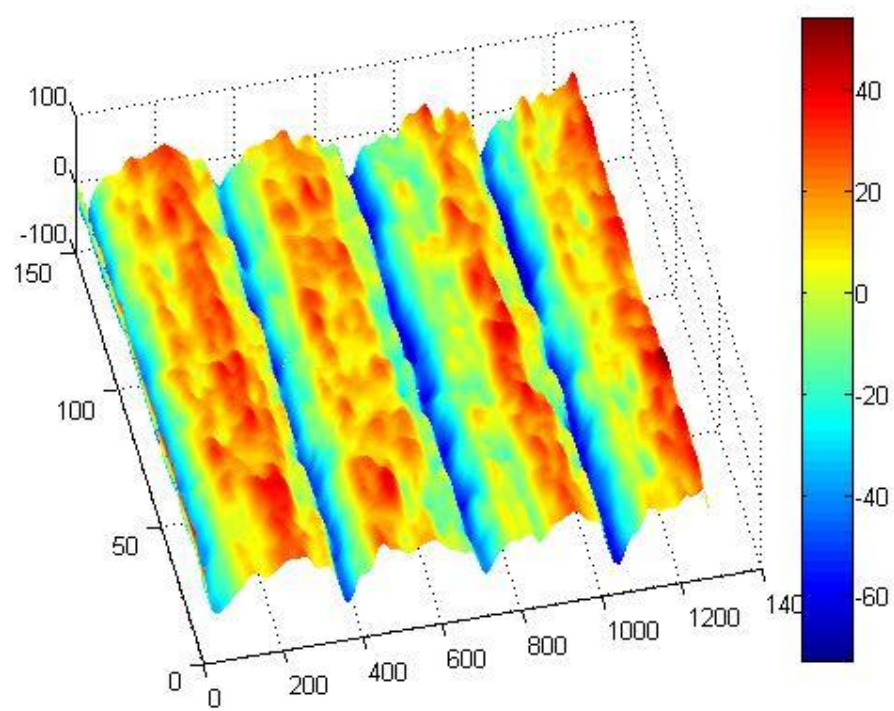
Obr. 26: 3D obraz nameraný prístrojom RCM bez úpravy: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



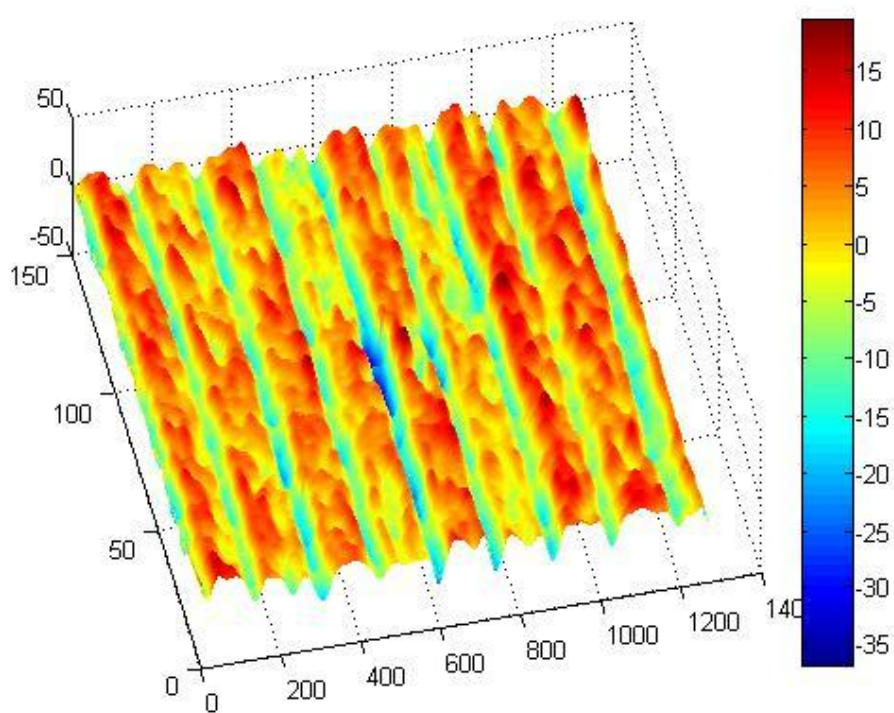
(a)



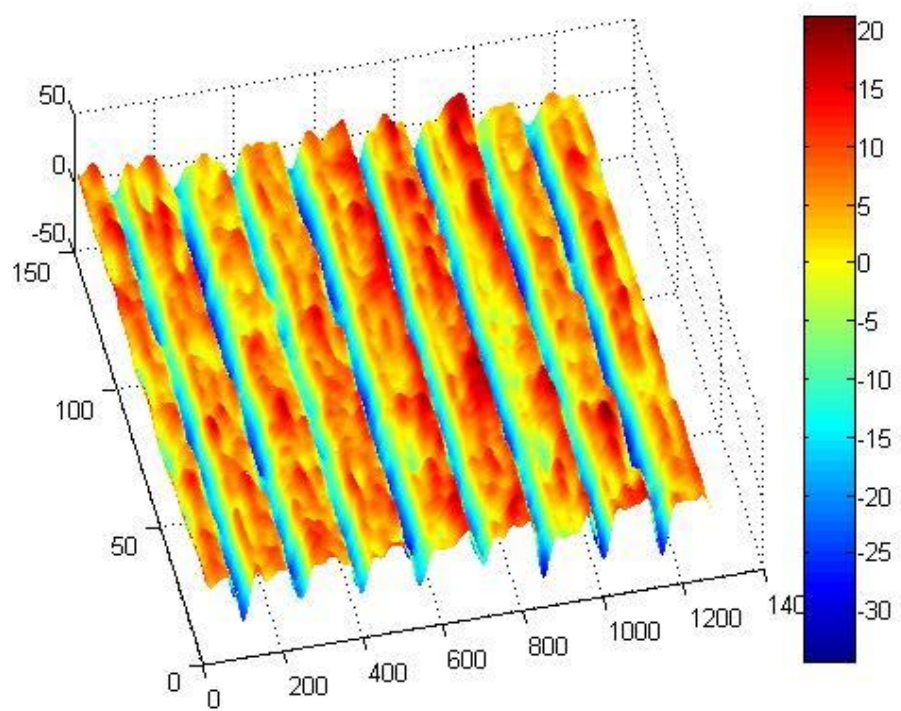
(b)



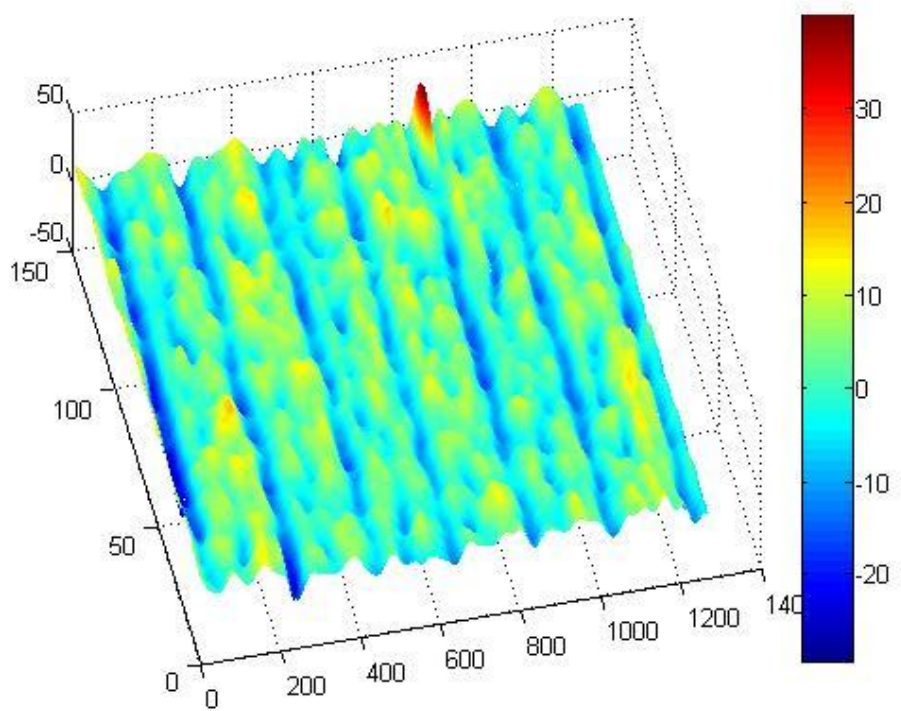
(c)



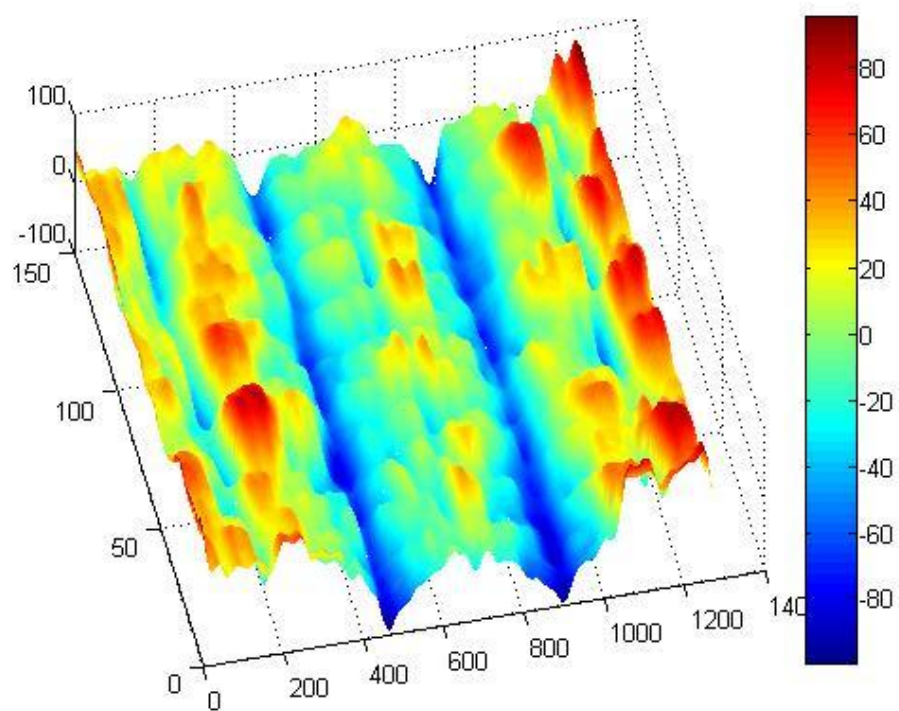
(d)



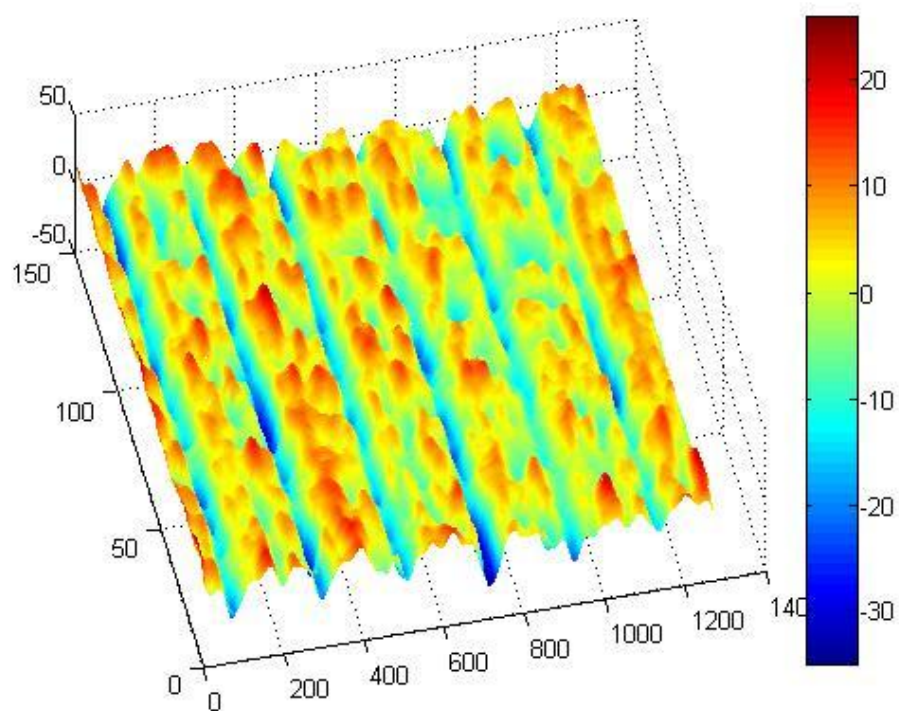
(e)



(f)

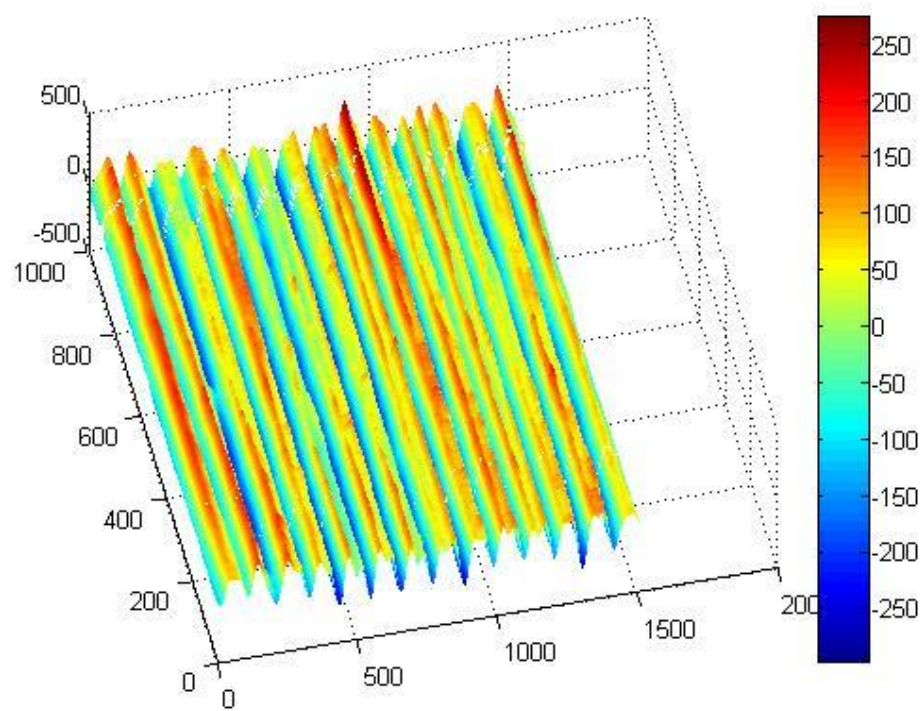


(g)

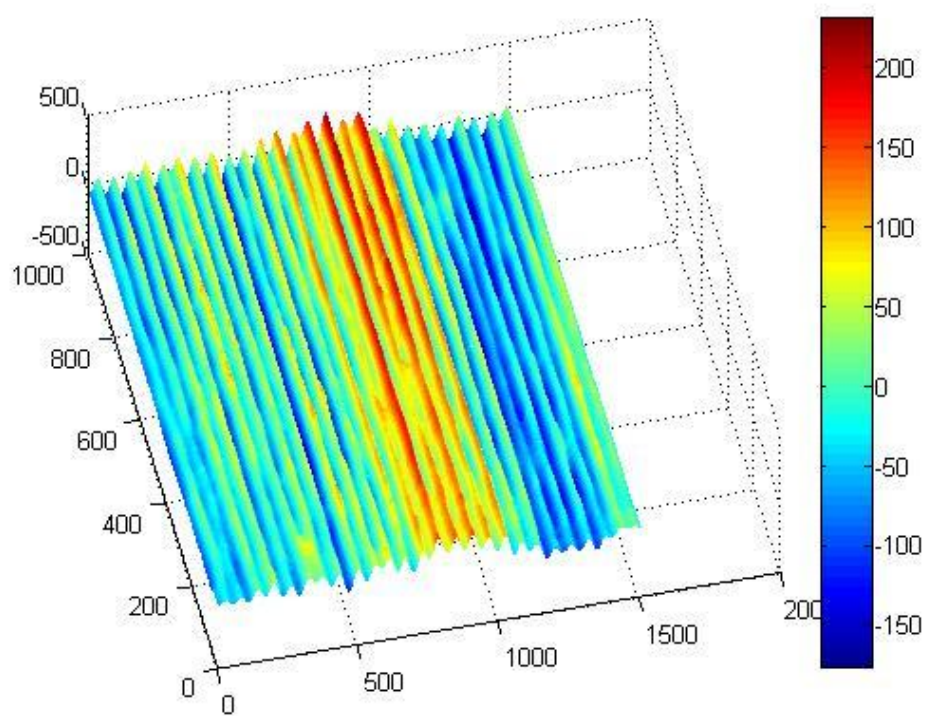


(h)

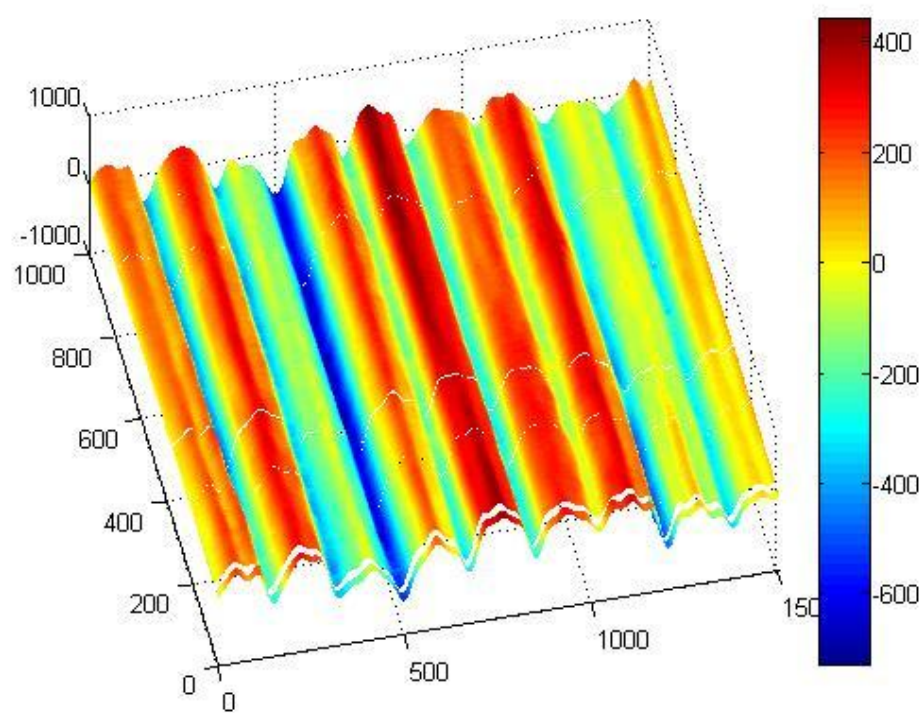
Obr. 27: 3D obraz nameraný prístrojom RCM po úprave Fourierovou transformáciou: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



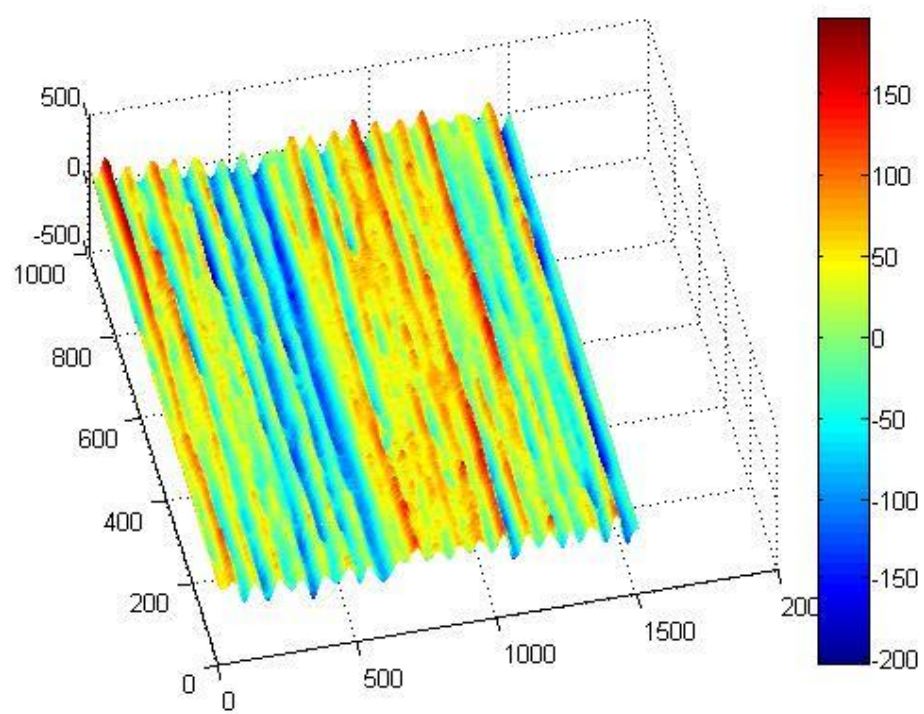
(a)



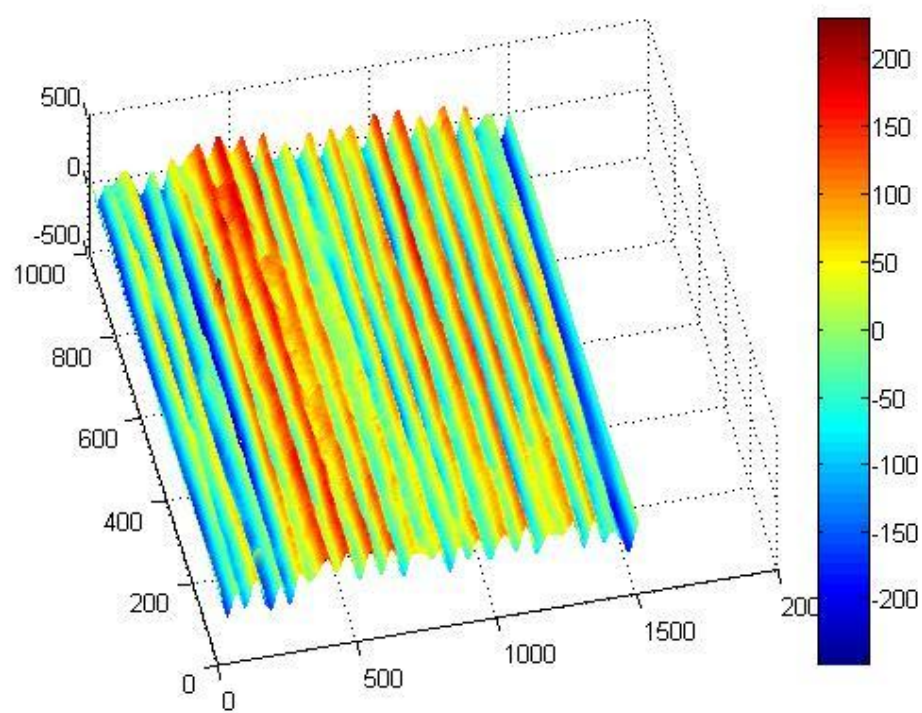
(b)



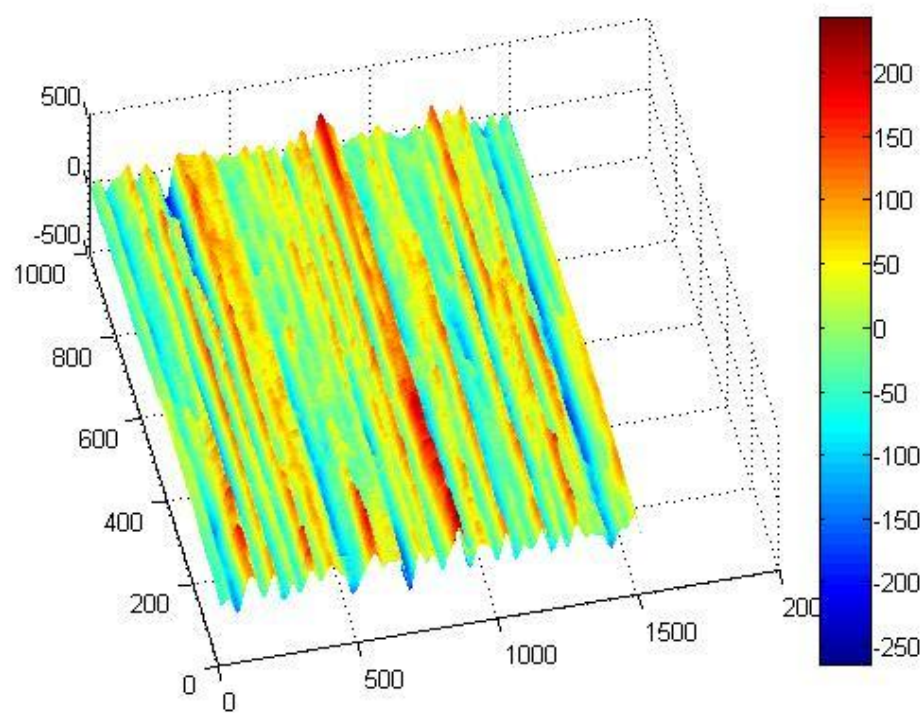
(c)



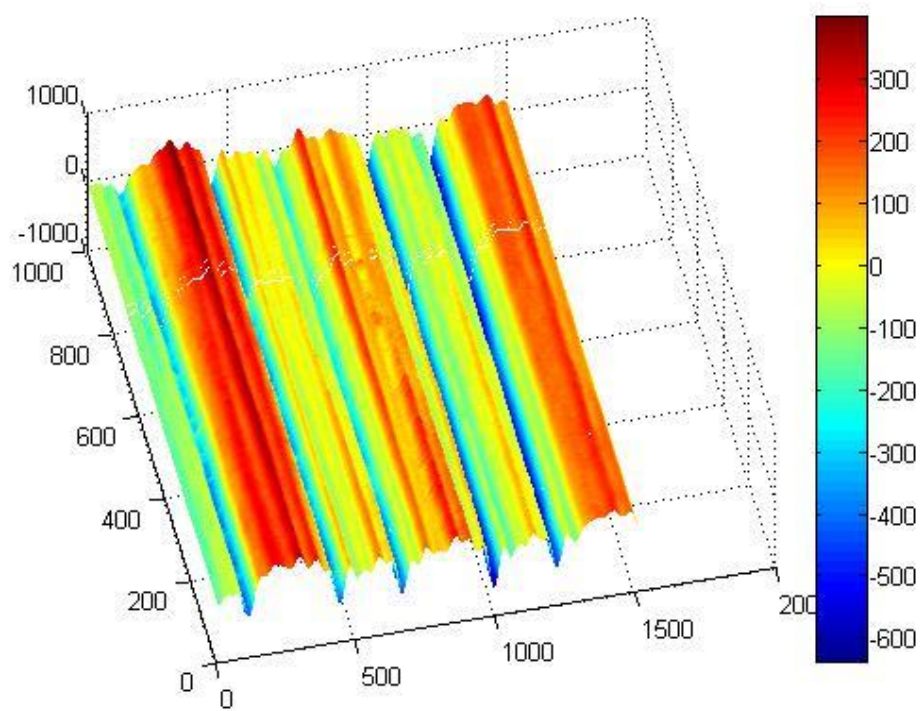
(d)



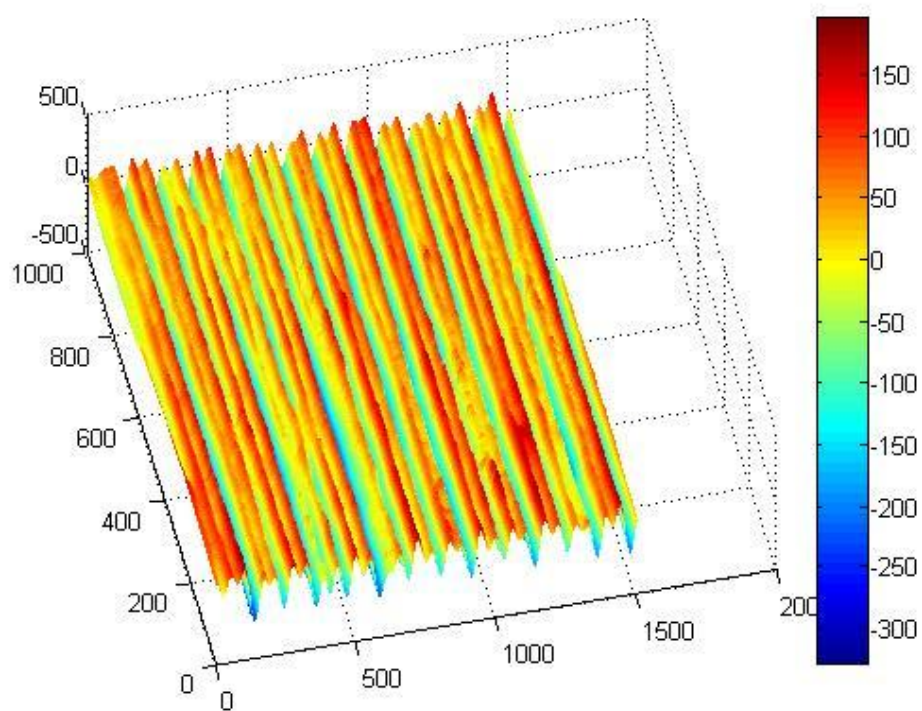
(e)



(f)

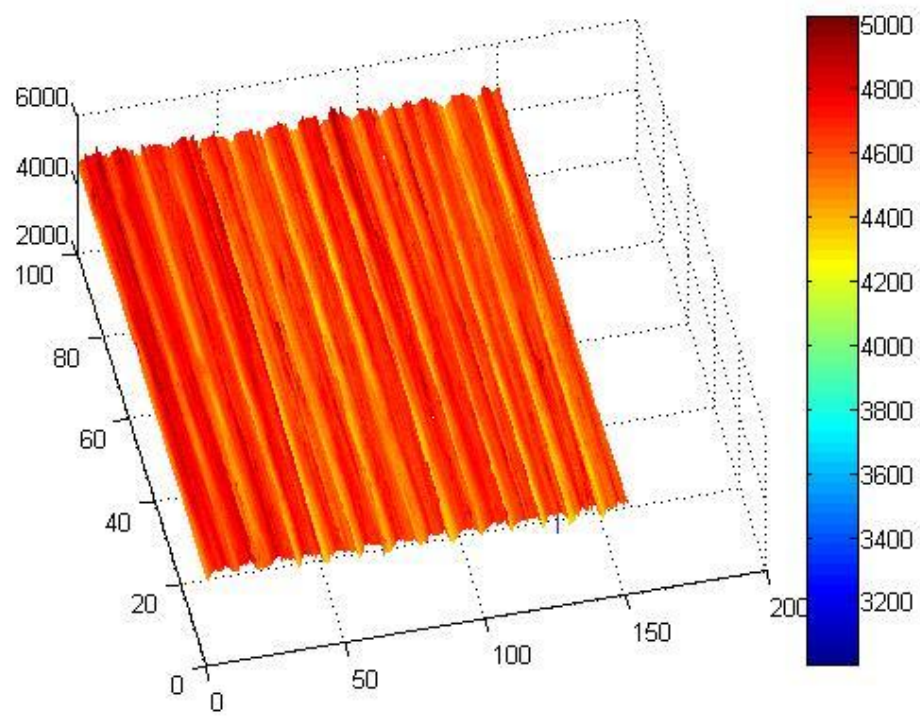


(g)

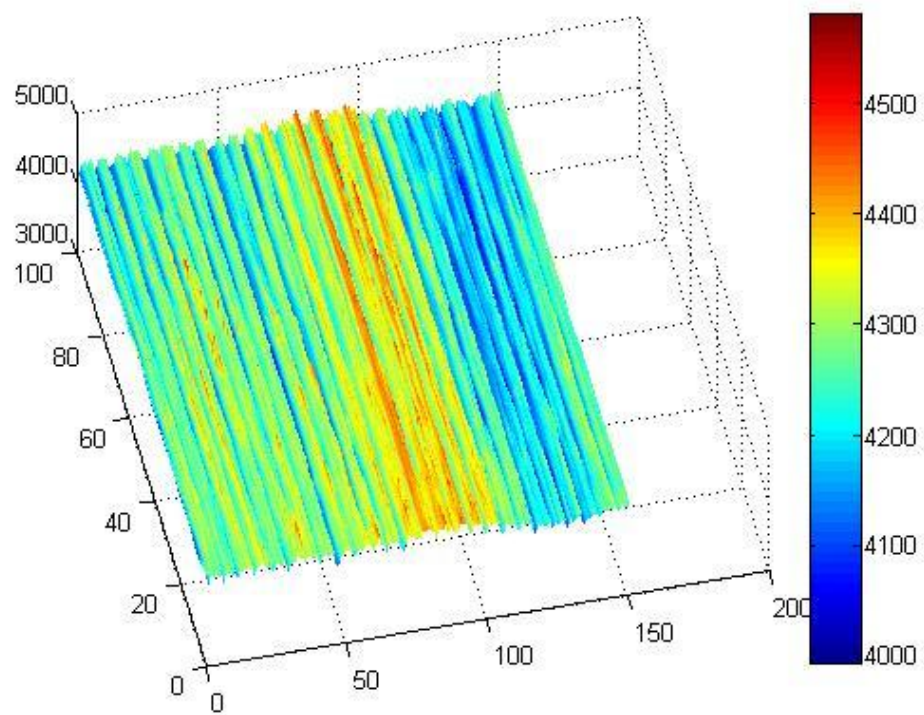


(h)

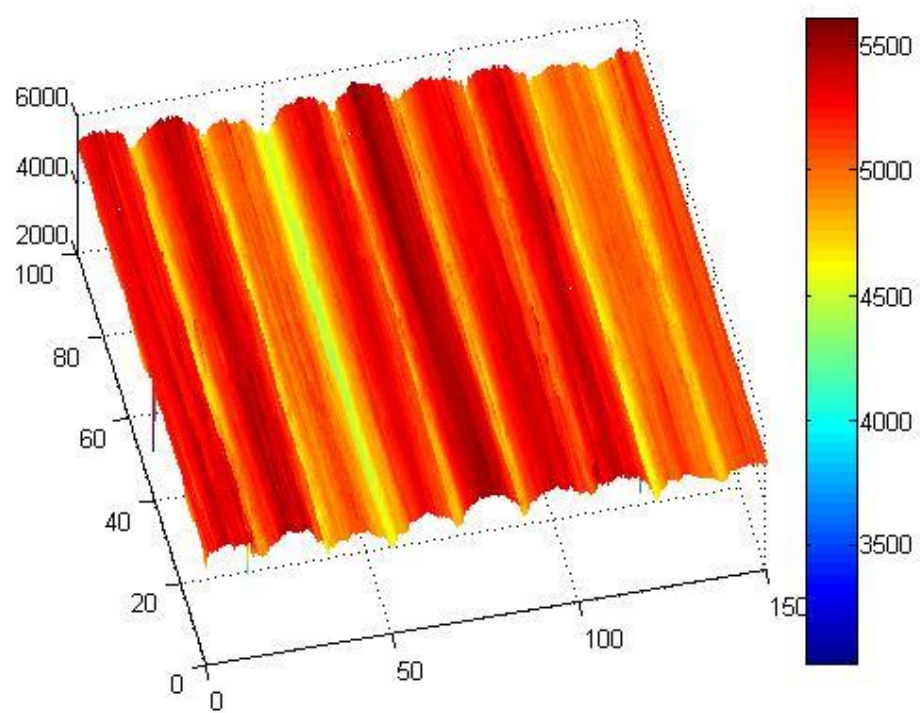
Obr. 28: 3D obraz nameraný prístrojom Talysurf bez úpravy: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



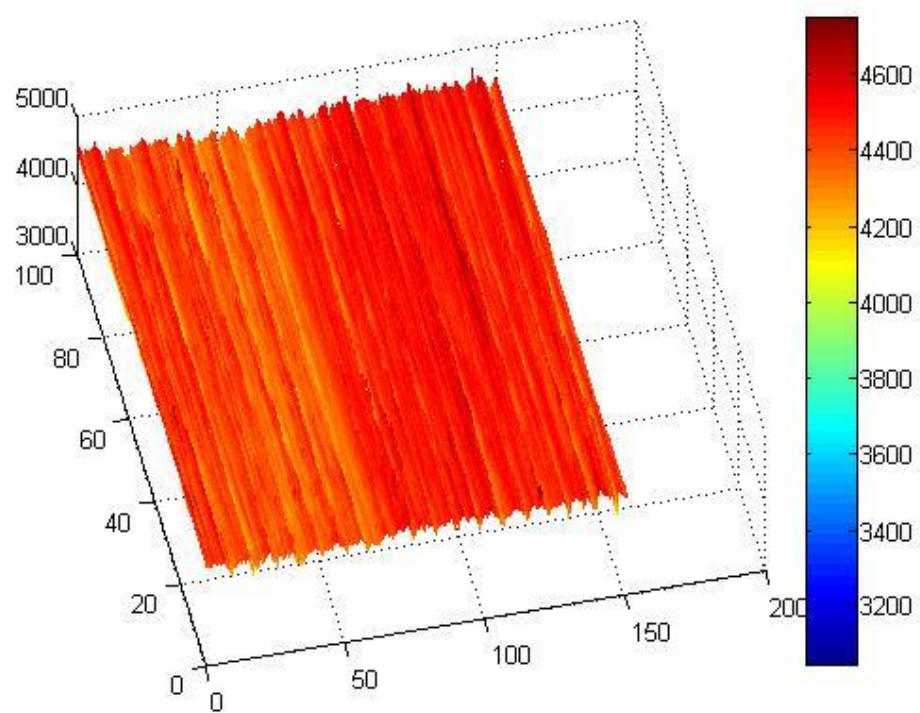
(a)



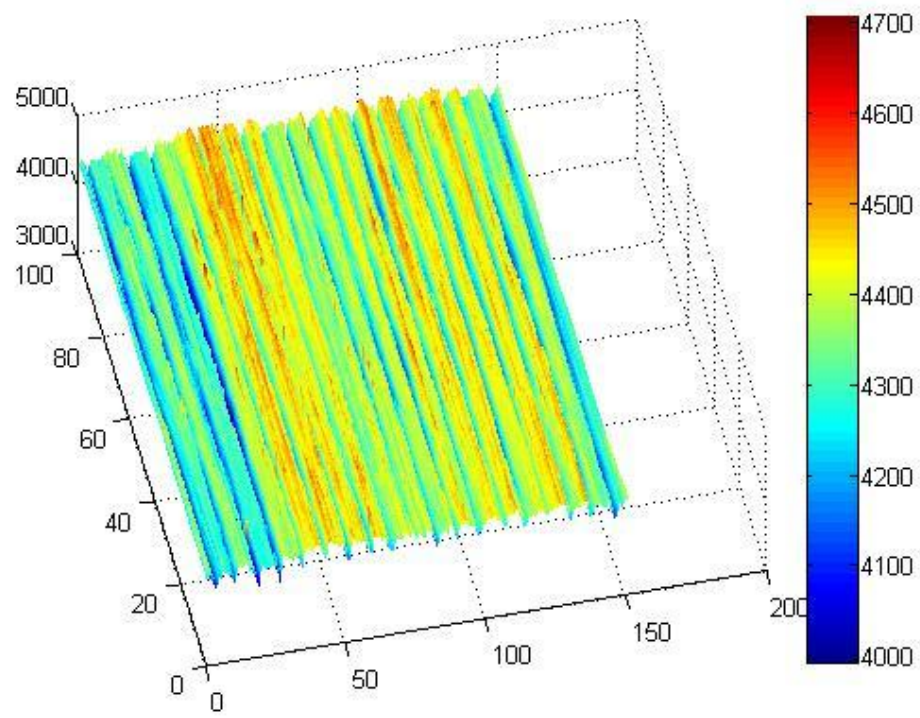
(b)



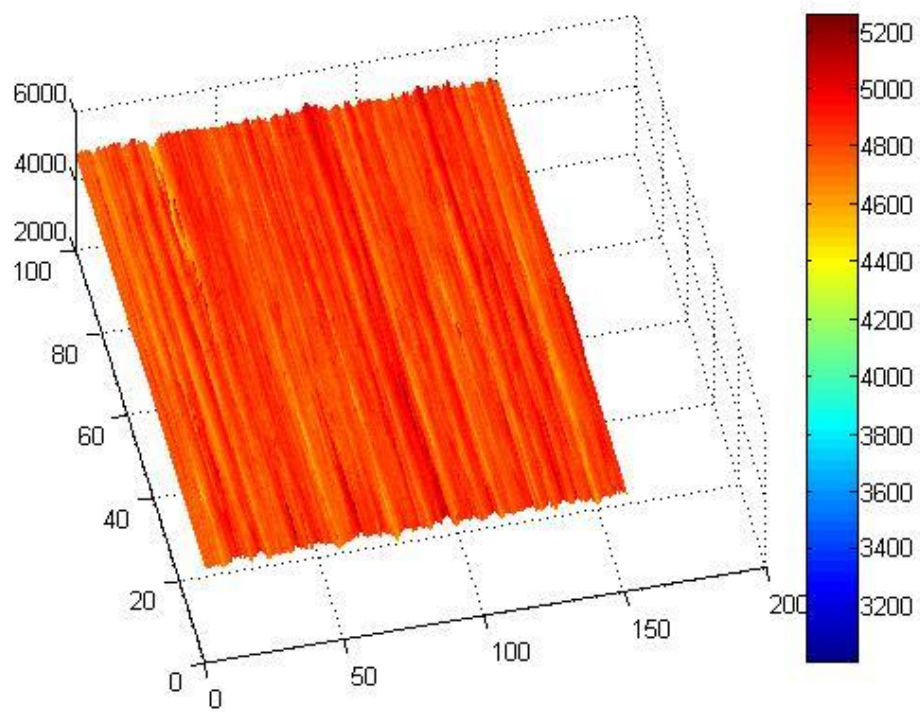
(c)



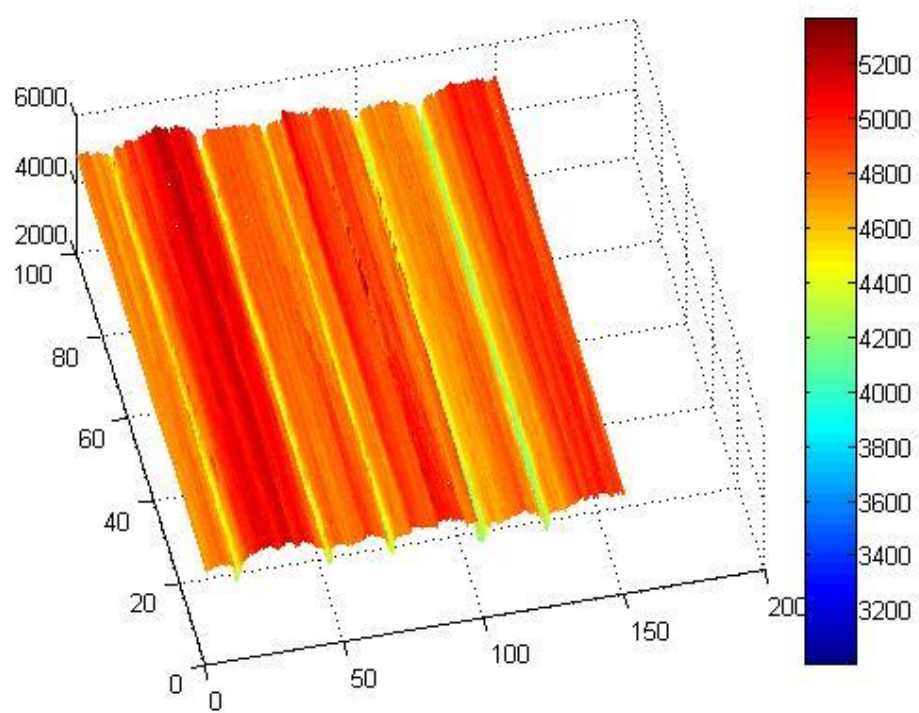
(d)



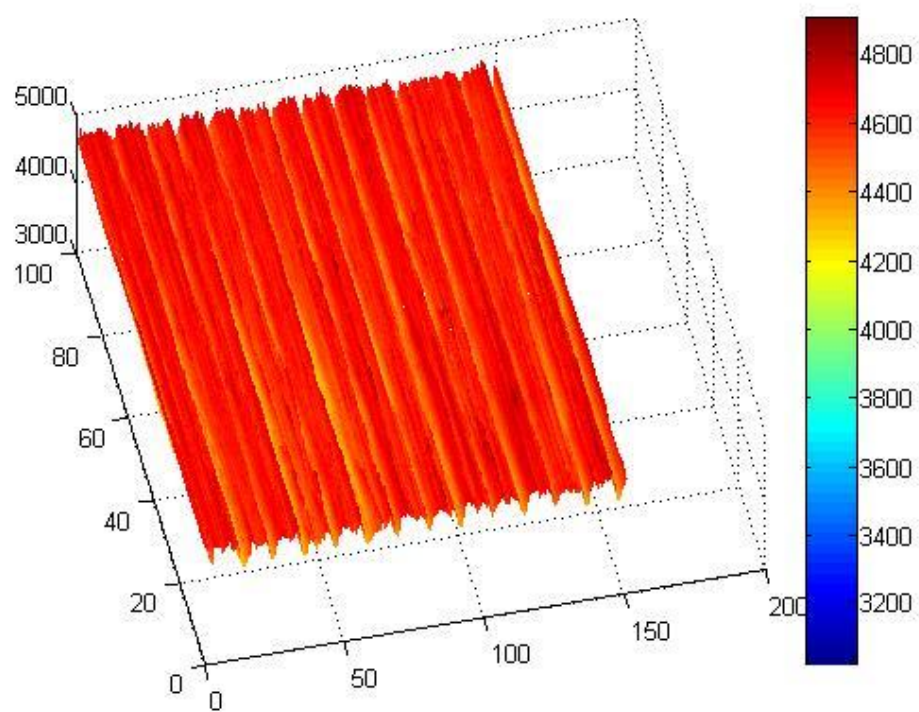
(e)



(f)



(g)



(h)

Obr. 29: 3D obraz nameraný prístrojom Talysurf po úprave Fourierovou transformáciou: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H

Vzorka A

Tab. 5: Porovnanie analýzy vzorky A medzi prístrojmi Talysurf a RCM.

	Talysurf	Talysurf IS 95% Dolná medza Horná medza	RCM	RCM IS 95% Dolná medza Horná medza	Porov- nanie Prienu IS
Stredná aritmetická odchýlka profilu	0.8407	0.8389 0.8424	0.3046	0.3015 0.3078	nie je
Výška nerovností z desiatich hodnôt profilu	4.7008	4.6846 4.7170	1.8058	1.7809 1.8307	nie je
Najväčšia výška nerovností profilu	-0.1350	-0.1419 -0.1281	-0.1636	0.1768 -0.1503	nie je
Stredná rozteč nerovností profilu	0.4932	0.4915 0.4949	2.6065	2.5350 2.6779	nie je
Stredná rozteč miestnych výstupkov profilu	0.6961	0.6932 0.6989	3.0145	2.9445 3.0844	nie je
Nosný podiel	0.0585	0.0583 0.0586	0.0336	0.0336 0.0337	nie je
Priemerná výška vrcholov	0.9767	0.9733 0.9800	0.3495	0.3422 0.3569	nie je
Priemerná výška priehlbni	1.4409	1.4354 1.4463	0.5146	0.5029 0.5264	nie je
Stredná kvadratická odchýlka profilu	1.0295	1.0276 1.0314	0.3822	0.3785 0.3859	nie je
Variačný koeficient výšky profilu	0.0128	0.0128 0.0128	0.0377	0.0375 0.0378	nie je
Priemerný štvorec smernice profilu	0.0566	0.0564 0.0567	0.0123	0.0122 0.0125	nie je
Priemerná krivosť profilu	0.0692	0.0690 0.0694	0.0161	0.0159 0.0163	nie je
Priemerná smernica profilu	0.0063	0.0063 0.0063	0.0012	0.0012 0.0013	nie je

Vzorka B

Tab. 6: Porovnanie analýzy vzorky B medzi prístrojmi Talysurf a RCM.

	Talysurf	Talysurf <i>IS 95%</i> Dolná medza Horná medza	RCM	RCM <i>IS 95%</i> Dolná medza Horná medza	Porov- nanie Prieniku IS
Stredná aritmetická odchýlka profilu	0.5794	0.5770 0.5817	0.2564	0.2542 0.2587	nie je
Výška nerovností z desiatich hodnôt profilu	3.3824	3.3662 3.3987	1.4454	1.4289 1.4620	nie je
Najväčšia výška nerovností profilu	0.0949	0.0883 0.1015	-0.1008	-0.1096 -0.0919	nie je
Stredná rozteč nerovností profilu	0.4707	0.4680 0.4735	1.5139	1.4797 1.5481	nie je
Stredná rozteč miestnych výstupkov profilu	0.7358	0.7339 0.7377	1.9552	1.9239 1.9865	nie je
Nosný podiel	0.0413	0.0410 0.0417	0.0351	0.0350 0.0352	nie je
Priemerná výška vrcholov	0.7679	0.7643 0.7715	0.2811	0.2768 0.2853	nie je
Priemerná výška priehlbni	0.7635	0.7587 0.7682	0.4105	0.4046 0.4165	nie je
Stredná kvadratická odchýlka profilu	0.7108	0.7081 0.7136	0.3196	0.3170 0.3223	nie je
Variačný koeficient výšky profilu	0.0128	0.0128 0.0128	0.0374	0.0373 0.0375	nie je
Priemerný štvorec smernice profilu	0.0391	0.0388 0.0395	0.0154	0.0152 0.0156	nie je
Priemerná krivosť profilu	0.0453	0.0449 0.0457	0.0192	0.0190 0.0194	nie je
Priemerná smernica profilu	0.0048	0.0047 0.0048	0.0018	0.0017 0.0018	nie je

Vzorka C

Tab. 7: Porovnanie analýzy vzorky C medzi prístrojmi Talysurf a RCM.

	Talysurf	Talysurf IS 95% Dolná medza Horná medza	RCM	RCM IS 95% Dolná medza Horná medza	Porov- nanie Prienu IS
Stredná aritmetická odchýlka profilu	1.8982	1.8965 1.9000	0.5620	0.5567 0.5674	nie je
Výška nerovností z desiatich hodnôt profilu	10.6368	10.6098 10.6638	3.3185	3.2895 3.3476	nie je
Najväčšia výška nerovností profilu	-1.2044	-1.2214 -1.1874	-0.1544	-0.1737 -0.1351	nie je
Stredná rozteč nerovností profilu	1.1099	1.1046 1.1151	3.1360	3.0109 3.2611	nie je
Stredná rozteč miestnych výstupkov profilu	1.6518	1.6361 1.6675	2.9244	2.8562 2.9926	nie je
Nosný podiel	0.0655	0.0654 0.0656	0.0379	0.0378 0.0380	nie je
Priemerná výška vrcholov	2.5259	2.5177 2.5341	0.6376	0.6253 0.6498	nie je
Priemerná výška priehlbni	2.8703	2.8633 2.8772	0.8499	0.8293 0.8705	nie je
Stredná kvadratická odchýlka profilu	2.2785	2.2767 2.2802	0.7203	0.7142 0.7265	nie je
Variačný koeficient výšky profilu	0.0125	0.0125 0.0126	0.0385	0.0383 0.0386	nie je
Priemerný štvorec smernice profilu	0.0638	0.0637 0.0639	0.0190	0.0188 0.0192	nie je
Priemerná krivosť profilu	0.0809	0.0807 0.0810	0.0265	0.0263 0.0267	nie je
Priemerná smernica profilu	0.0053	0.0053 0.0053	0.0020	0.0020 0.0020	nie je

Vzorka D

Tab. 8: Porovnanie analýzy vzorky D medzi prístrojmi Talysurf a RCM.

	Talysurf	Talysurf IS 95% Dolná medza Horná medza	RCM	RCM IS 95% Dolná medza Horná medza	Porov- nanie Prienu IS
Stredná aritmetická odchýlka profilu	0.5476	0.5442 0.5509	0.2148	0.2119 0.2176	nie je
Výška nerovností z desiatich hodnôt profilu	3.1656	3.1448 3.1865	1.2894	1.2661 1.3126	nie je
Najväčšia výška nerovností profilu	-0.0681	-0.0772 -0.0591	-0.0798	-0.0927 -0.0669	nie je
Stredná rozteč nerovností profilu	0.7398	0.7325 0.7471	1.9468	1.8921 2.0014	nie je
Stredná rozteč miestnych výstupkov profilu	0.9486	0.9439 0.9534	2.5307	2.4786 2.5827	nie je
Nosný podiel	0.0304	0.0302 0.0306	0.0328	0.0327 0.0329	nie je
Priemerná výška vrcholov	0.6798	0.6748 0.6849	0.2566	0.2511 0.2621	nie je
Priemerná výška priehlbni	0.7972	0.7898 0.8045	0.3128	0.3071 0.3184	nie je
Stredná kvadratická odchýlka profilu	0.6706	0.6668 0.6744	0.2695	0.2661 0.2729	nie je
Variačný koeficient výšky profilu	0.0128	0.0128 0.0128	0.0377	0.0375 0.0379	nie je
Priemerný štvorec smernice profilu	0.0273	0.0271 0.0275	0.0106	0.0105 0.0108	nie je
Priemerná krivosť profilu	0.0337	0.0334 0.0339	0.0139	0.0137 0.0141	nie je
Priemerná smernica profilu	0.0028	0.0028 0.0029	0.0013	0.0012 0.0013	nie je

Vzorka E

Tab. 9: Porovnanie analýzy vzorky E medzi prístrojmi Talysurf a RCM.

	Talysurf	Talysurf IS 95% Dolná medza Horná medza	RCM	RCM IS 95% Dolná medza Horná medza	Porov- nanie Priemerného IS
Stredná aritmetická odchýlka profilu	0.6886	0.6856 0.6916	0.2830	0.2801 0.2859	nie je
Výška nerovností z desiatich hodnôt profilu	3.8658	3.8471 3.8844	1.5991	1.5781 1.6201	nie je
Najväčšia výška nerovností profilu	-0.3140	-0.3202 -0.3078	-0.1372	-0.1477 -0.1267	nie je
Stredná rozteč nerovností profilu	0.4938	0.4916 0.4959	2.1138	2.0576 2.1700	nie je
Stredná rozteč miestnych výstupkov profilu	0.8777	0.8764 0.8789	2.2545	2.2075 2.3015	nie je
Nosný podiel	0.0458	0.0456 0.0461	0.0348	0.0347 0.0349	nie je
Priemerná výška vrcholov	0.9643	0.9599 0.9687	0.3097	0.3050 0.3145	nie je
Priemerná výška priehlbni	0.9881	0.9809 0.9952	0.4831	0.4738 0.4925	nie je
Stredná kvadratická odchýlka profilu	0.8441	0.8407 0.8475	0.3531	0.3493 0.3569	nie je
Variačný koeficient výšky profilu	0.0128	0.0128 0.0128	0.0374	0.0373 0.0376	nie je
Priemerný štvorec smernice profilu	0.0438	0.0435 0.0440	0.0143	0.0141 0.0144	nie je
Priemerná krivosť profilu	0.0515	0.0512 0.0519	0.0188	0.0186 0.0191	nie je
Priemerná smernica profilu	0.0043	0.0042 0.0043	0.0017	0.0016 0.0017	nie je

Vzorka F

Tab. 10: Porovnanie analýzy vzorky F medzi prístrojmi Talysurf a RCM.

	Talysurf	Talysurf IS 95% Dolná medza Horná medza	RCM	RCM IS 95% Dolná medza Horná medza	Porov- nanie Priemerného IS
Stredná aritmetická odchýlka profilu	0.5279	0.5258 0.5301	0.2077	0.2051 0.2104	nie je
Výška nerovností z desiatich hodnôt profilu	3.5016	3.4651 3.5381	1.4169	1.3807 1.4530	nie je
Najväčšia výška nerovností profilu	-0.1010	-0.1151 -0.0868	-0.0960	-0.1156 -0.0764	nie je
Stredná rozteč nerovností profilu	0.4895	0.4865 0.4926	2.2583	2.1937 2.3230	nie je
Stredná rozteč miestnych výstupkov profilu	0.7738	0.7697 0.7778	2.5701	2.5145 2.6257	nie je
Nosný podiel	0.0373	0.0371 0.0374	0.0319	0.0318 0.0319	nie je
Priemerná výška vrcholov	0.7184	0.7140 0.7228	0.2596	0.2535 0.2656	nie je
Priemerná výška priehlbni	0.7337	0.7293 0.7381	0.2887	0.2819 0.2954	nie je
Stredná kvadratická odchýlka profilu	0.6610	0.6583 0.6637	0.2651	0.2615 0.2688	nie je
Variačný koeficient výšky profilu	0.0131	0.0131 0.0131	0.0383	0.0381 0.0385	nie je
Priemerný štvorec smernice profilu	0.0346	0.0344 0.0348	0.0088	0.0087 0.0089	nie je
Priemerná krivosť profilu	0.0429	0.0427 0.0432	0.0112	0.0110 0.0114	nie je
Priemerná smernica profilu	0.0041	0.0041 0.0041	0.0009	0.0009 0.0010	nie je

Vzorka G

Tab. 11: Porovnanie analýzy vzorky G medzi prístrojmi Talysurf a RCM.

	Talysurf	Talysurf IS 95% Dolná medza Horná medza	RCM	RCM IS 95% Dolná medza Horná medza	Porov- nanie Prienu IS
Stredná aritmetická odchýlka profilu	1.4096	1.4058 1.4133	0.8060	0.7856 0.8264	nie je
Výška nerovností z desiatich hodnôt profilu	9.5691	9.5455 9.5926	4.7376	4.6187 4.8564	nie je
Najväčšia výška nerovností profilu	-0.8813	-0.8962 -0.8663	0.1536	0.1071 0.2001	nie je
Stredná rozteč nerovností profilu	0.9518	0.9446 0.9589	4.4309	4.2042 4.6576	nie je
Stredná rozteč miestnych výstupkov profilu	0.9535	0.9481 0.9590	3.8889	3.7283 4.0496	nie je
Nosný podiel	0.0568	0.0565 0.0570	0.0388	0.0386 0.0391	nie je
Priemerná výška vrcholov	1.5244	1.5169 1.5320	1.0217	0.9882 1.0552	nie je
Priemerná výška priehlbni	1.9292	1.9150 1.9434	0.9566	0.9327 0.9804	nie je
Stredná kvadratická odchýlka profilu	1.8307	1.8256 1.8358	1.0383	1.0112 1.0655	nie je
Variačný koeficient výšky profilu	0.0136	0.0136 0.0136	0.0387	0.0384 0.0390	nie je
Priemerný štvorec smernice profilu	0.0546	0.0543 0.0549	0.0203	0.0200 0.0206	nie je
Priemerná krivosť profilu	0.0740	0.0736 0.0744	0.0286	0.0280 0.0291	nie je
Priemerná smernica profilu	0.0063	0.0063 0.0064	0.0022	0.0022 0.0023	nie je

Vzorka H

Tab. 12: Porovnanie analýzy vzorky H medzi prístrojmi Talysurf a RCM.

	Talysurf	Talysurf IS 95% Dolná medza Horná medza	RCM	RCM IS 95% Dolná medza Horná medza	Porov- nanie Prienu IS
Stredná aritmetická odchýlka profilu	0.6652	0.6611 0.6692	0.2193	0.2147 0.2240	nie je
Výška nerovností z desiatich hodnôt profilu	3.9386	3.9008 3.9764	1.4193	1.3811 1.4576	nie je
Najväčšia výška nerovností profilu	-0.4877	-0.4984 -0.4771	-0.1348	-0.1485 -0.1210	nie je
Stredná rozteč nerovností profilu	0.4397	0.4371 0.4423	1.9750	1.9105 2.0395	nie je
Stredná rozteč miestnych výstupkov profilu	0.6076	0.6059 0.6094	2.4950	2.4390 2.5510	nie je
Nosný podiel	0.0534	0.0532 0.0537	0.0325	0.0324 0.0326	nie je
Priemerná výška vrcholov	0.8220	0.8165 0.8276	0.2587	0.2524 0.2649	nie je
Priemerná výška priehlbni	1.0895	1.0821 1.0970	0.3317	0.3220 0.3414	nie je
Stredná kvadratická odchýlka profilu	0.8326	0.8275 0.8377	0.2800	0.2741 0.2859	nie je
Variačný koeficient výšky profilu	0.0131	0.0131 0.0131	0.0383	0.0381 0.0385	nie je
Priemerný štvorec smernice profilu	0.0515	0.0512 0.0517	0.0101	0.0099 0.0103	nie je
Priemerná krivosť profilu	0.0630	0.0626 0.0633	0.0130	0.0128 0.0133	nie je
Priemerná smernica profilu	0.0062	0.0062 0.0062	0.0011	0.0011 0.0012	nie je

Zhrnuté vyhodnotenia pre dané normalizované i nenormalizované charakteristiky sa nachádzajú na obrázkoch 30 - 33. Údaje pre všetky dané charakteristiky sa vyhodnocovali pre prístroj Talysurf (obr. 30 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)). a pre prístroj RCM (obr. 31 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)). Charakteristiky sú vynesené proti sebe v obr. 32.1 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h)), kde je vidieť, že regresná priamka oboch výsledkov merania z prístrojov RCM i Talysurfu pre všetky charakteristiky neprechádza všetkými bodmi.. Medzi charakteristiky, cez ktoré neprechádza regresná priamka patrí najväčšia výška nerovností profilu R_m , stredná rozteč nerovností profilu Z_m a stredná rozteč miestnych výstupkov Z , ktoré sú v poradí výsledkov charakteristík na druhom, štvrtom a piatom mieste. Po následnom vynechaní týchto troch najviac rozdielnych charakteristík je podľa obrázku 32.2 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h) vidieť regresná priamka, ktorá je vyššia a prechádza viacerými zhodnými bodmi. Vyhodnotenie intervalov spoľahlivosti pre oba prístroje sa nachádza na obrázku 33 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h), kde intervaly pre Talysurf sú zobrazené červenou farbou a intervaly pre RCM sú zobrazené modrou farbou.

7. DISKUSIA

Parametre nastavenia prístrojov RCM i Talysurfu majú nezanedbateľný vplyv na samotné meranie. U RCM je to napríklad veľkosť uhla, ktorý zvierá meraná textília s vertikálnou hranou prístroja, intenzita osvetlenia diódového poľa, nastavenie konkrétnych parametrov optického systému, nastavenie rýchlosti merania, kým u Talysurfu má vplyv na samotné meranie upnutie vzorky do správnej horizontálnej polohy, aby sa vzorka nezvlnila, čo potom ovplyvní snímaný povrch laserom, rýchlosť merania, pretože čím je meranie pomalšie, tým sú merané hodnoty kvalitnejšie, samozrejmosťou ostáva možné znečistenie meranej vzorky u oboch prístrojov.

V algoritmoch *drsnostRCM.m*, *drsnostT.m* a *vyhodnoceni.m* sú použité definované prístupy vo vyhodnotení parametrov a normovaných charakteristík meraných textilných vzoriek. Analýzou spracovaných výsledkov, ktoré je možno vidieť z obrázkov 29 – 32 sa zistilo, že výsledky meraní vzoriek prístrojom RCM a Talysurfom sa vo väčšine prípadov nezhodujú. Dalo by sa povedať, že merania sú neporovnateľné. Ako sa dá vidieť na obrázku 22.2 (g),(h), kde sa nachádza zväčšenie výrezu krivky opisujúcej profil povrchu a stredovej čiary profilu prístroja RCM na meraných vzorkách materiálu,

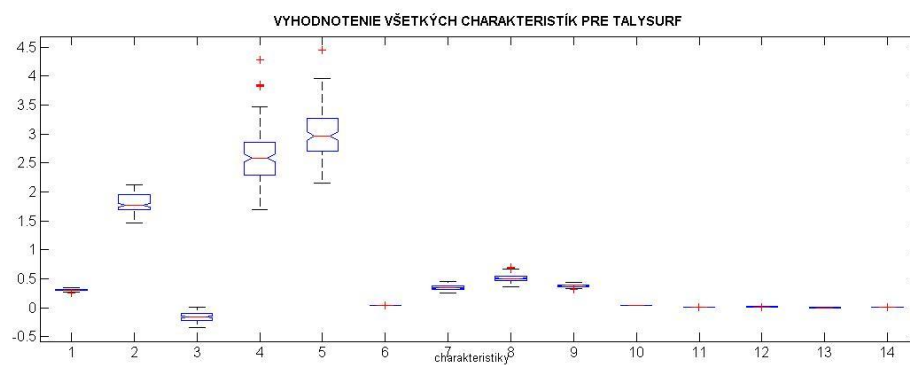
profil označený modrou čiarou miestami nekopíruje povrch meranej vzorky a to má za následok nepresné vyhodnocovanie výsledkov, meranie diódovým poľom v prípade prístroja RCM je nepresnejšie ako meranie laserom v prípade prístroja Talysurf CLI, a preto sú výsledky neporovnateľné. Pri porovnaní obrázkov 25.1 a 25.2 je očividné, že prístroj Talysurf meria profil drsnosti povrchu skúmaných vzoriek omnoho presnejšie.

Na obrázkoch 30 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h) a 31 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h) sú vynesené krabicové grafy- boxploty, ktoré predstavujú najlepší spôsob grafického znázornenia pre rozdelenie nameraných hodnôt. Na obrázku 32.1 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h) je regresná priamka so všetkými charakteristikami z prístrojov RCM i Talysurf, kde je vidieť, že väčšina charakteristík sa nezhoduje.

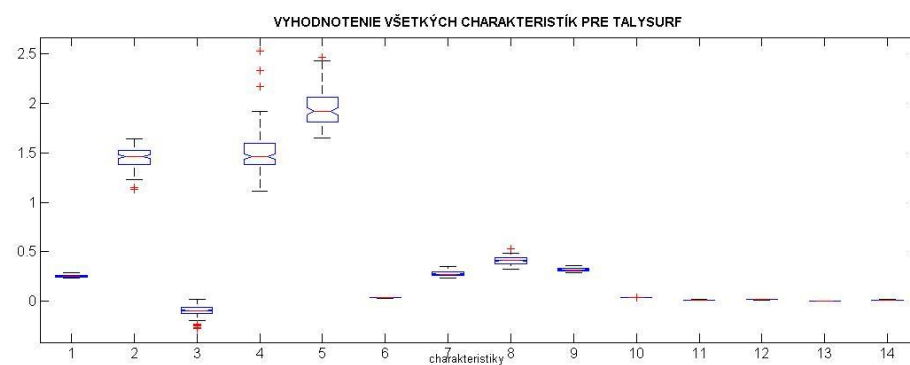
Regresná priamka je priamka, pre ktorú je súčet štvorcov odchýlok všetkých bodov od nej minimálny. Na spomínanom obrázku sú zreteľne viditeľné najväčšie rozdiely v poradí výsledkov charakteristík, ktoré sa odkláňajú od regresnej priamky na druhom, štvrtom a piatom mieste. Je to najväčšia výška nerovností profilu R_m , stredná rozteč nerovností profilu Z_m a stredná rozteč miestnych výstupkov Z . Na obrázku 32.2 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h) sa tieto tri charakteristiky, ktoré majú medzi sebou najväčšie rozdiely odstránia. Po tomto vynechaní troch najviac rozdielných charakteristík je podľa obrázku 32.2 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h) vidieť regresná priamka, ktorá má vyššie číslo regresie a prechádza viacerými zhodnými bodmi, zhrnutie korelácie všetkých vzoriek s nameranými charakteristikami i s charakteristikami po odstránení spomínaných charakteristík je v Tab. 13.

Podľa obrázku 33 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h), kde sa nachádza vyhodnotenie intervalov spoľahlivosti sa dá usúdiť, že vyhodnotené charakteristiky pre oba prístroje sú lineárne podobné, to znamená, že na rovnakých miestach charakteristiky pre oba prístroje súčasne stúpajú alebo klesajú, avšak porovnať charakteristiky medzi sebou nie je možné, pretože sa nezhodujú. Interval spoľahlivosti predstavuje rozsah hodnôt.

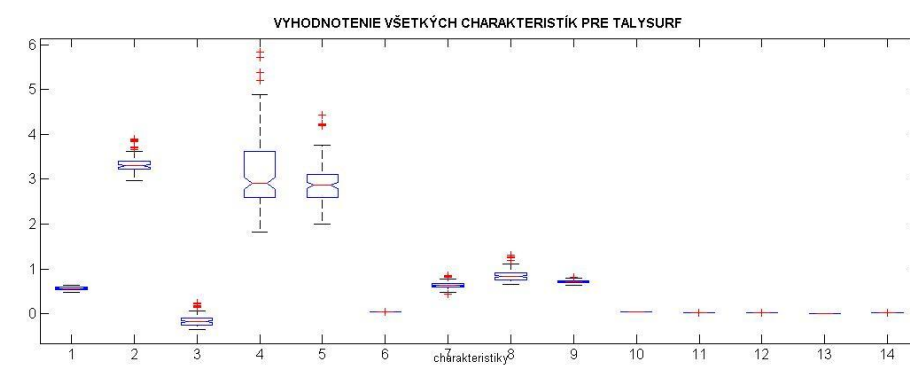
Charakteristiky, ktoré sú najbližšie k zhode z nameraných intervalov spoľahlivosti pre hrubú i tenkú vzorku sú nenormalizované, a to variačný koeficient výšky profilu CV , priemerná smernica profilu MS , priemerný štvorec smernice profilu PSC a priemerná krivosť profilu PC a nachádzajú sa na posledných štyroch miestach charakteristík. Presné prieniky intervalu spoľahlivosti sa nachádzajú v Tab. 5 až 12.



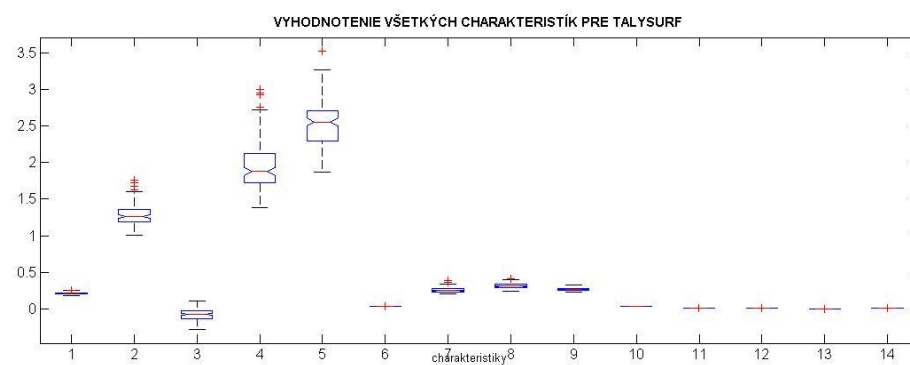
(a)



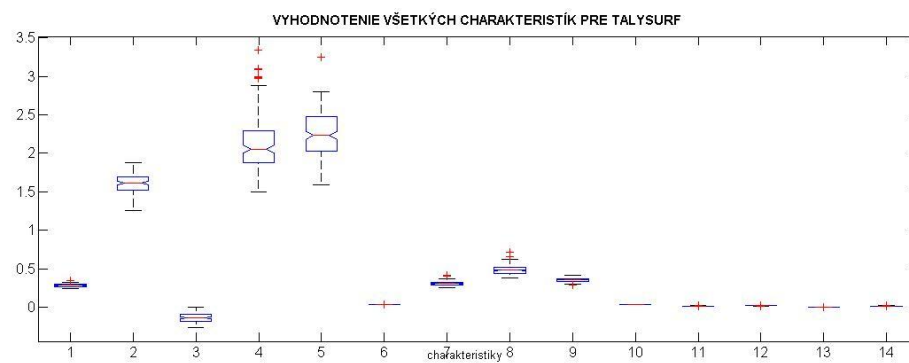
(b)



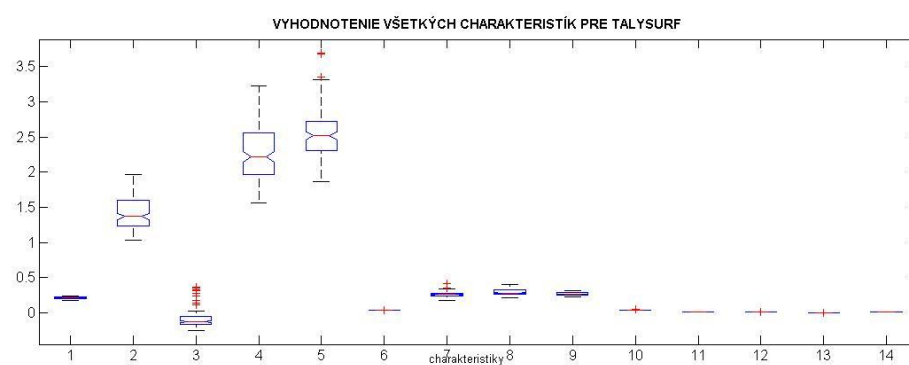
(c)



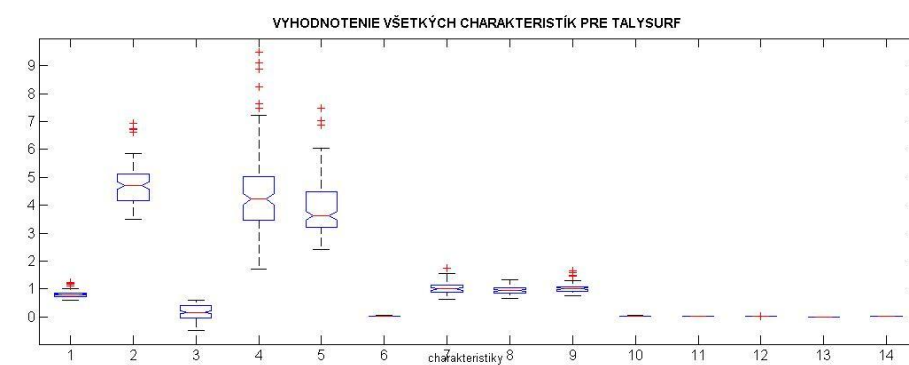
(d)



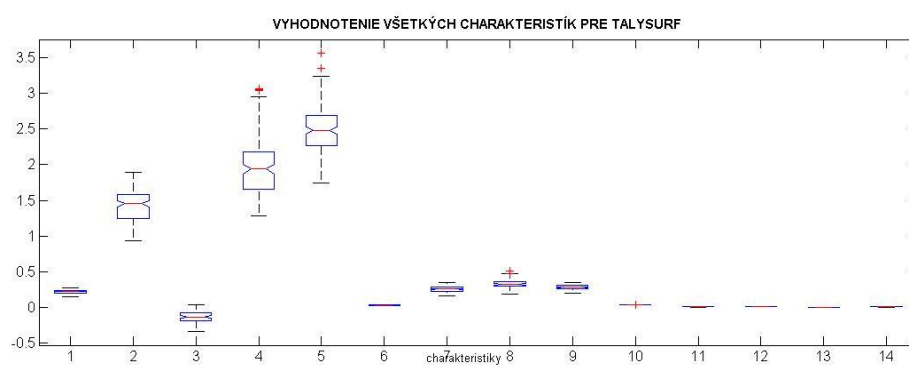
(e)



(f)

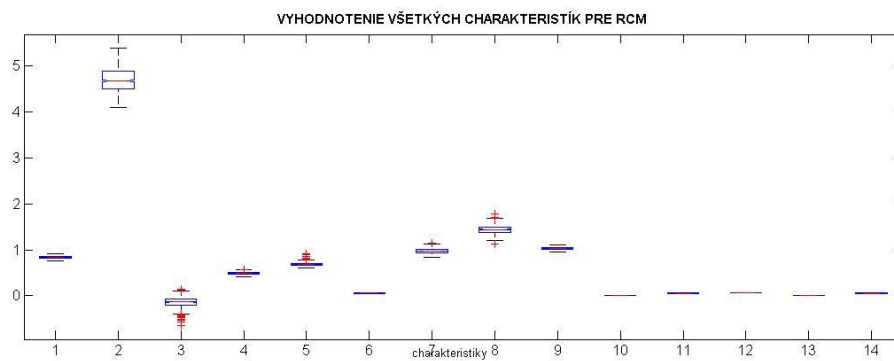


(g)

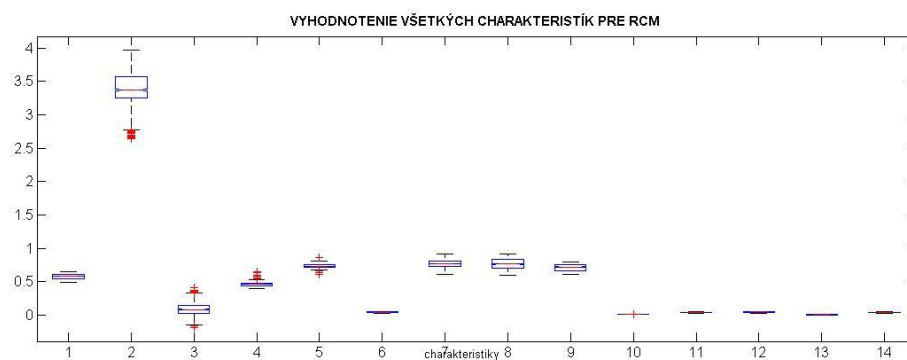


(h)

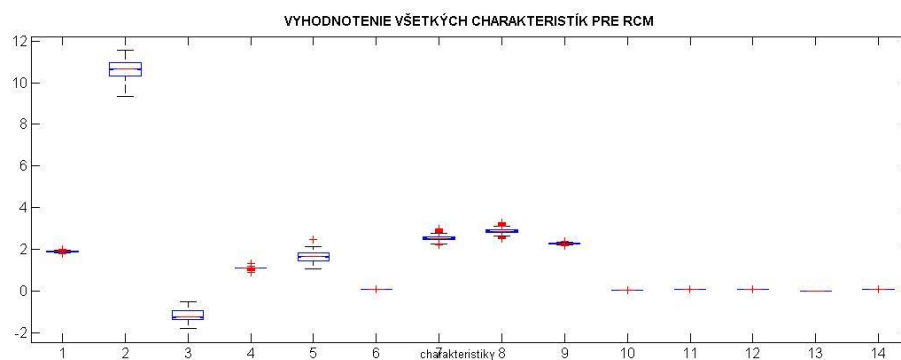
Obr. 30: Vyhodnotenie všetkých charakteristík pre prístroj Talysurf: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



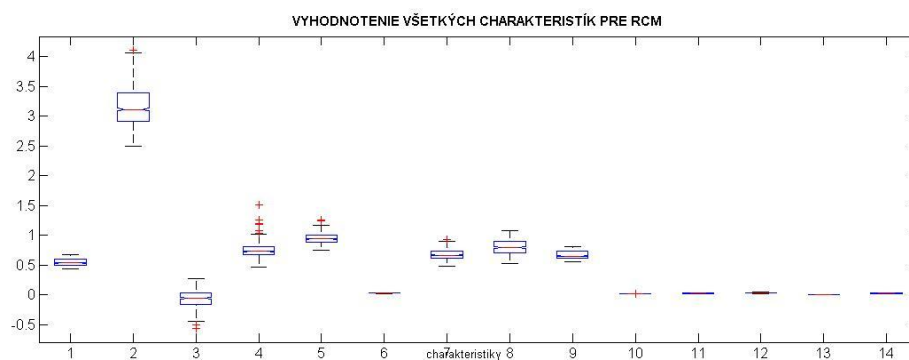
(a)



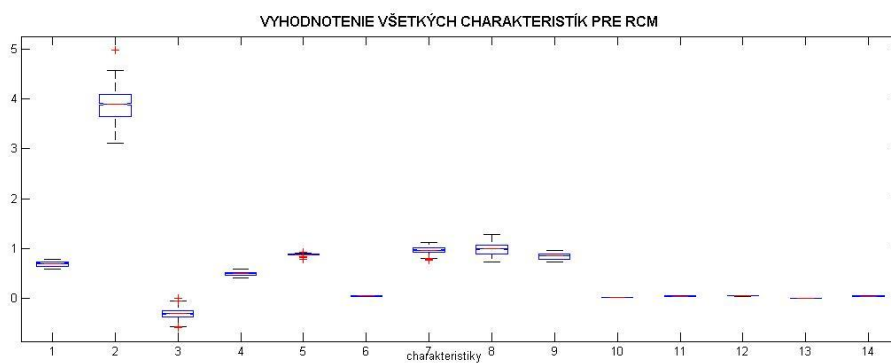
(b)



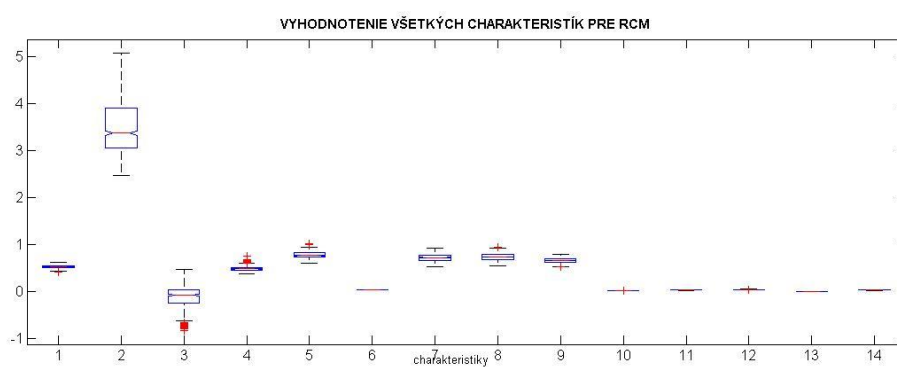
(c)



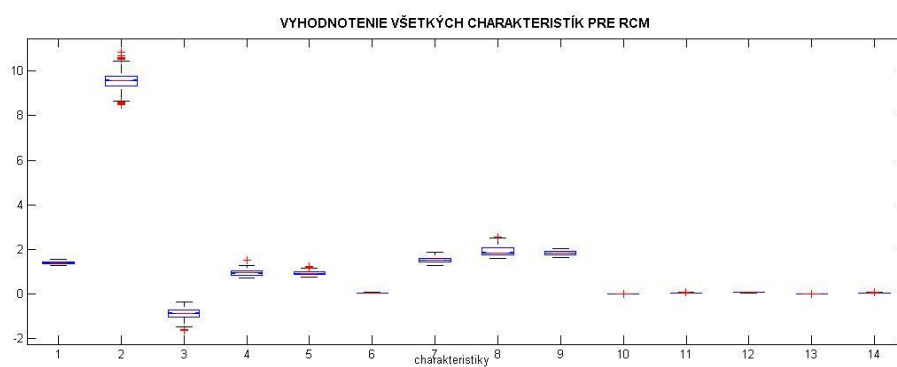
(d)



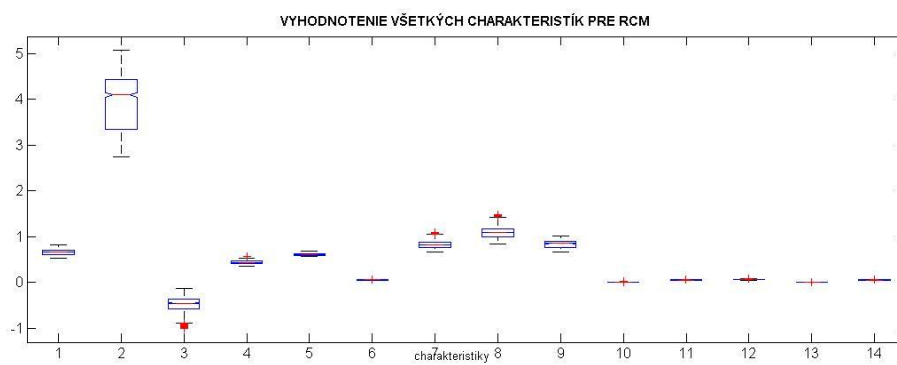
(e)



(f)

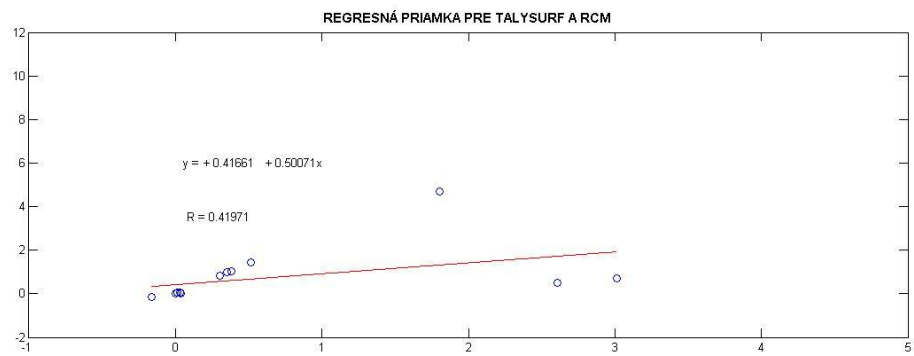


(g)

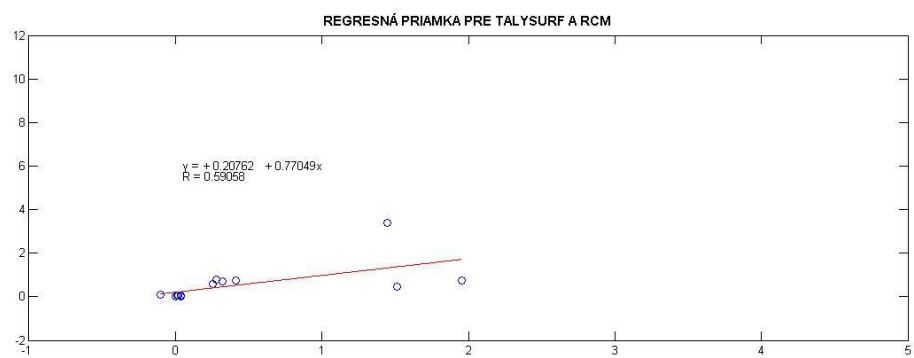


(h)

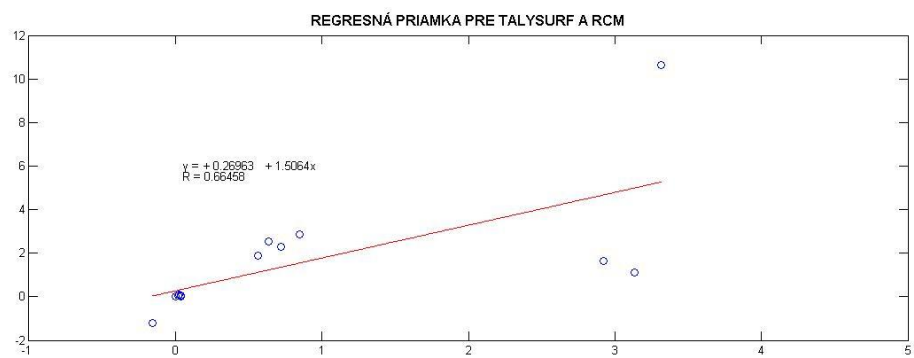
Obr. 31: Vyhodnotenie všetkých charakteristík pre prístroj RCM: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



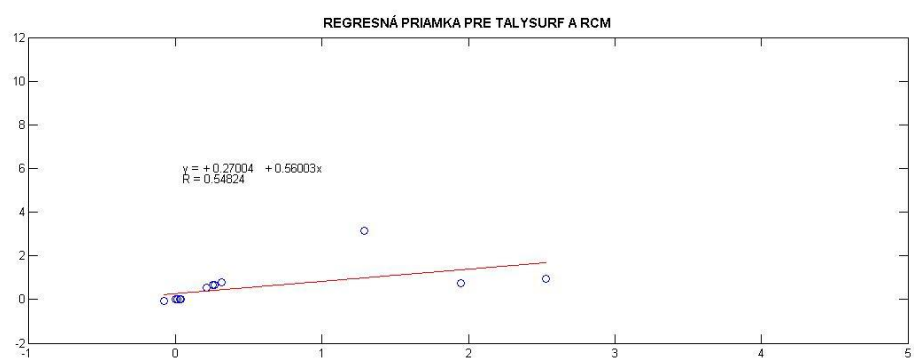
(a)



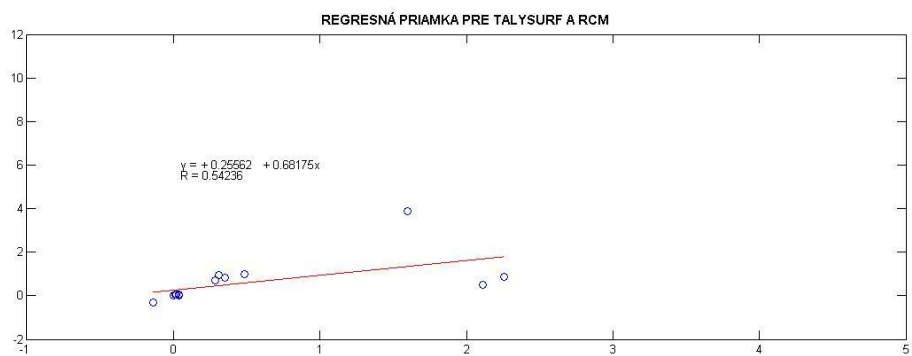
(b)



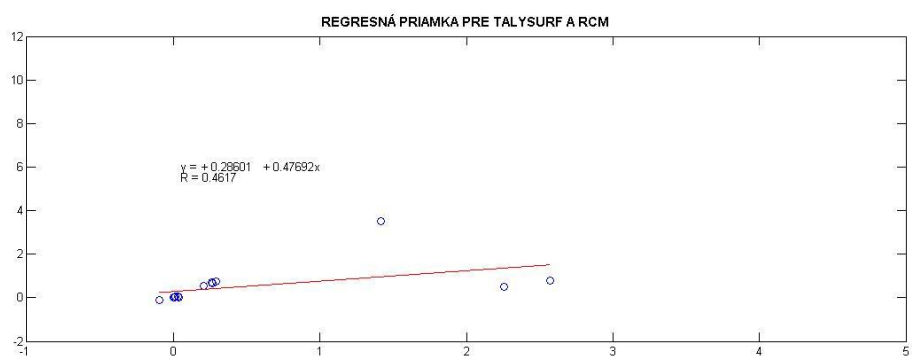
(c)



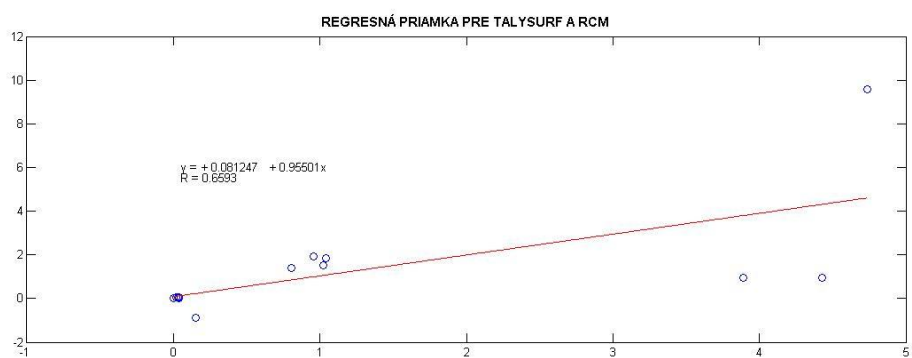
(d)



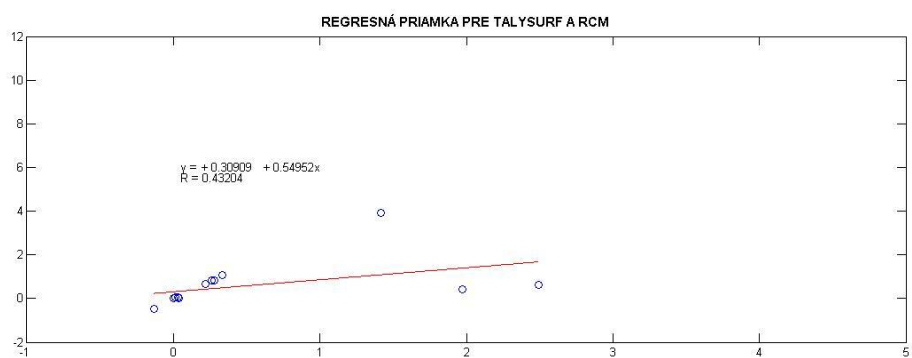
(e)



(f)

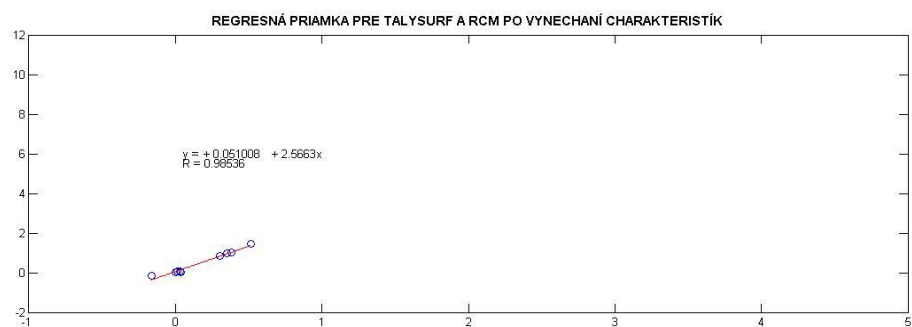


(g)

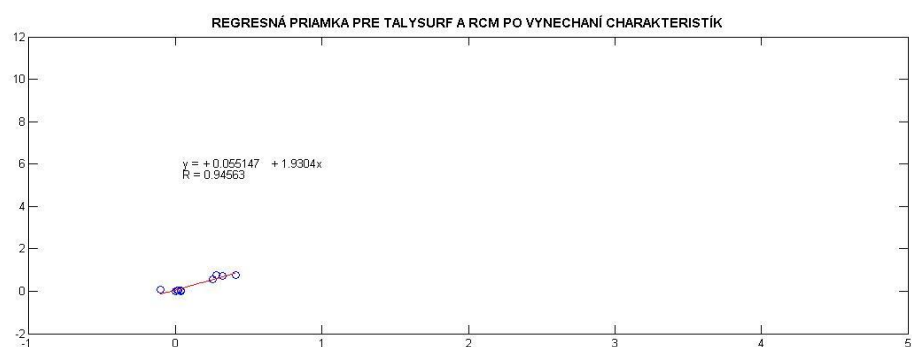


(h)

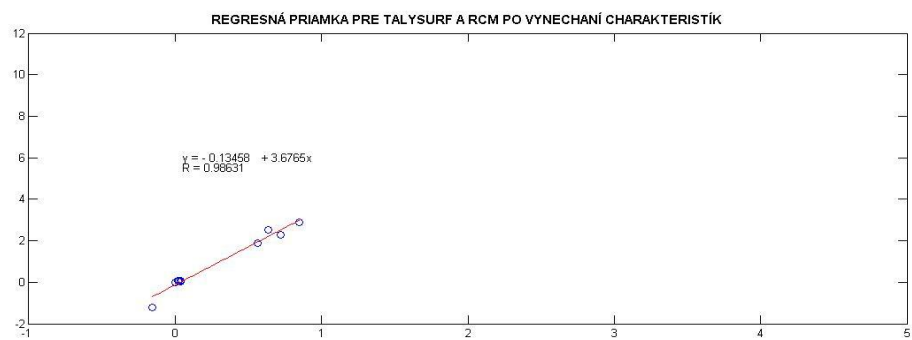
Obr. 32.1: Regresná priamka prístrojov RCM i Talysurfu: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



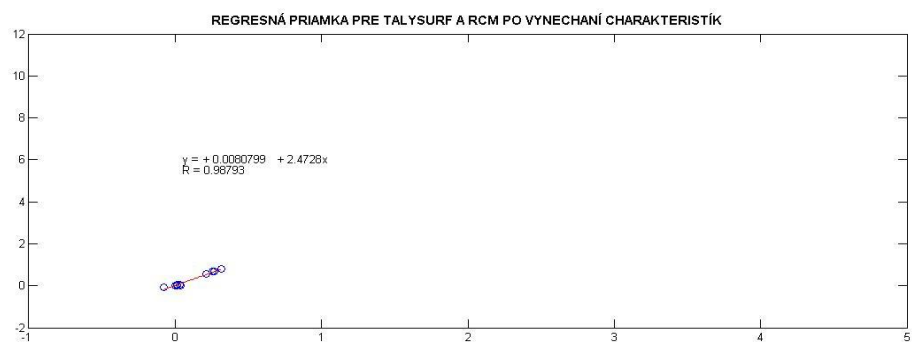
(a)



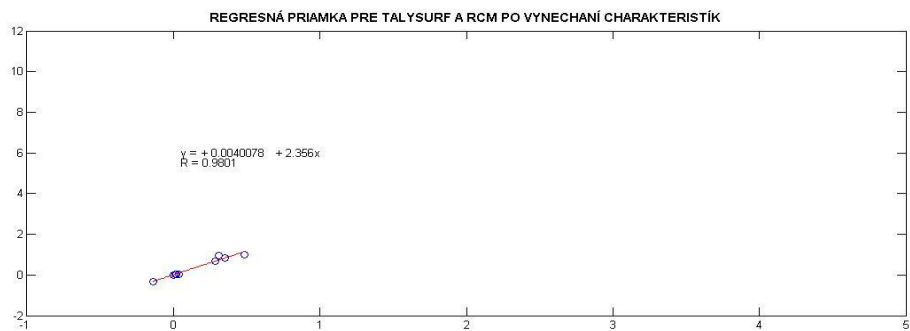
(b)



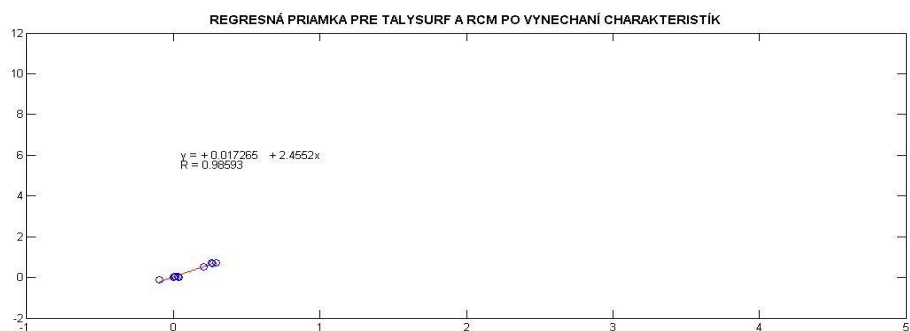
(c)



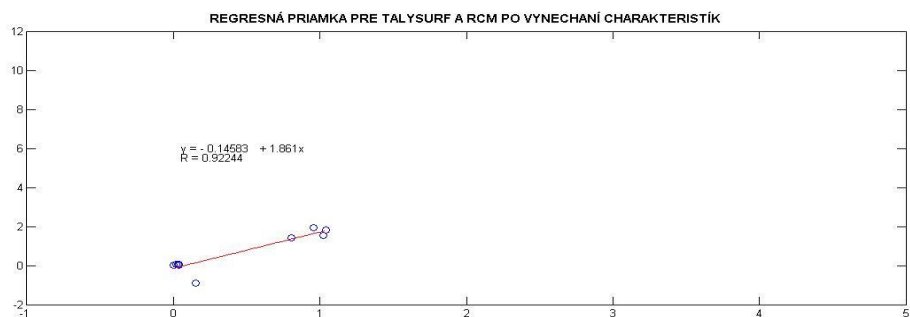
(d)



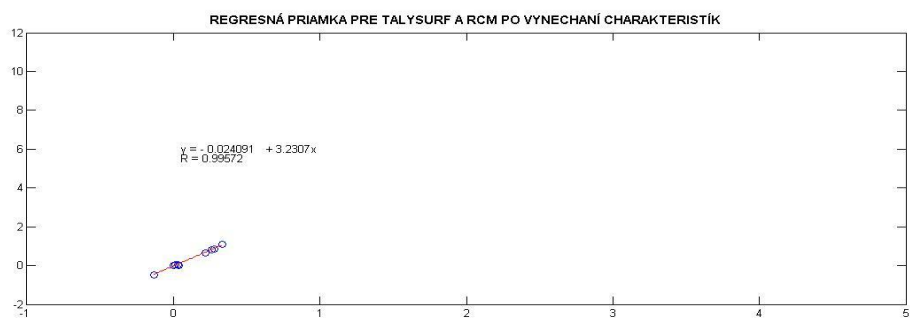
(e)



(f)

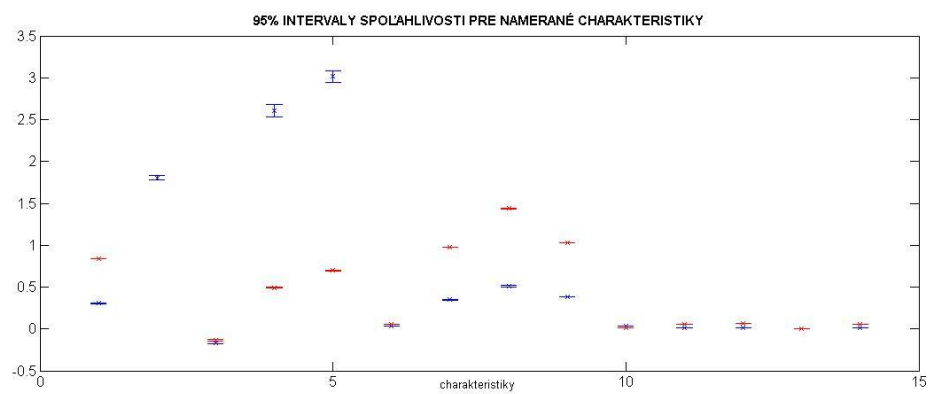


(g)

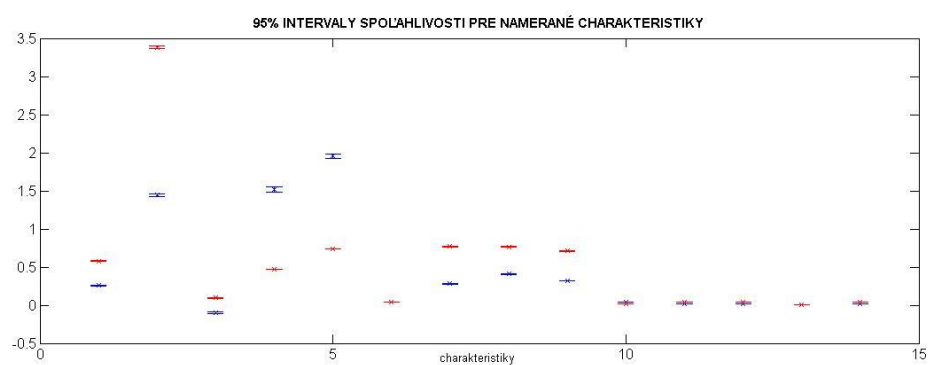


(h)

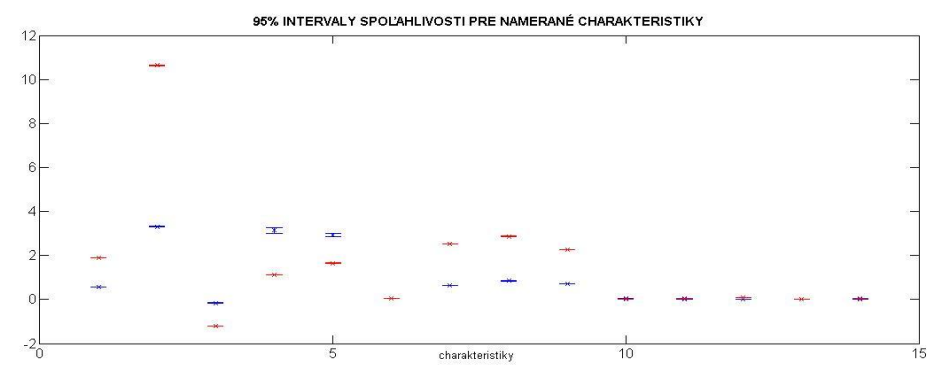
Obr. 32.2: Regresná priamka prístrojov RCM i Talysurfu po vynechaní charakteristík 2, 4, 5: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.



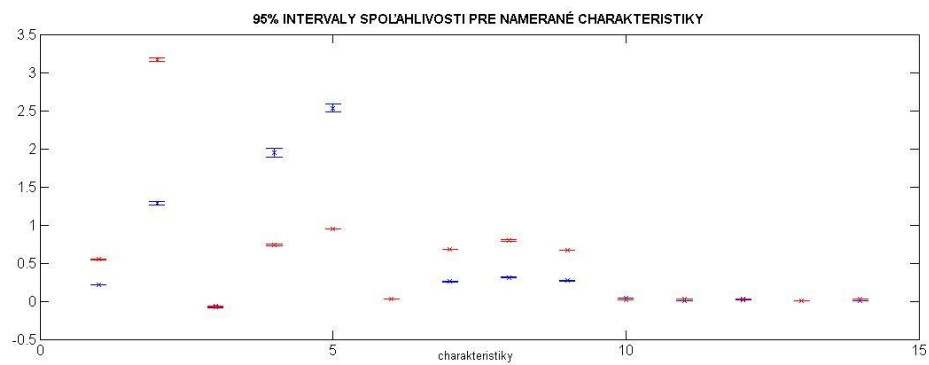
(a)



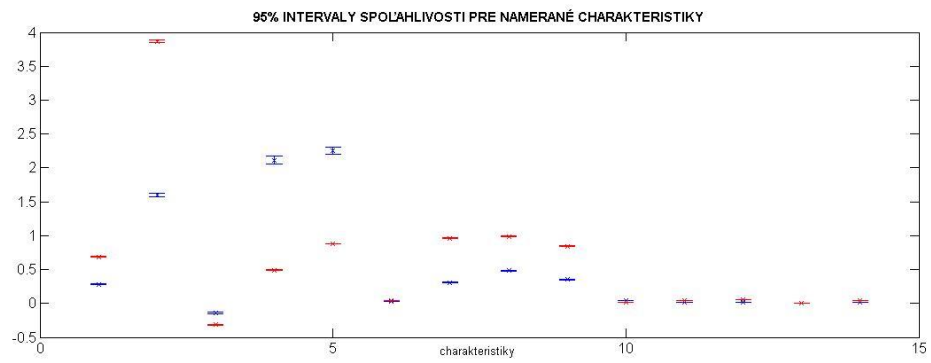
(b)



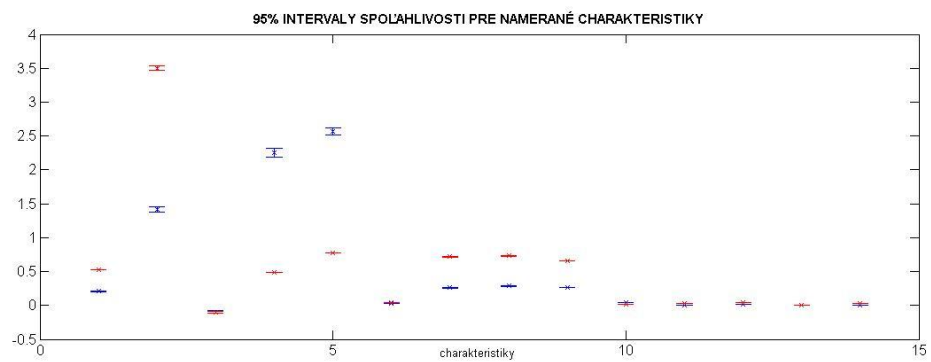
(c)



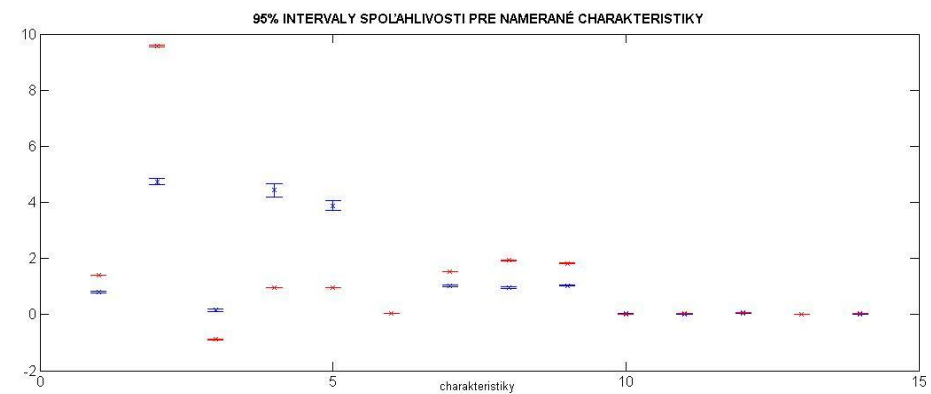
(d)



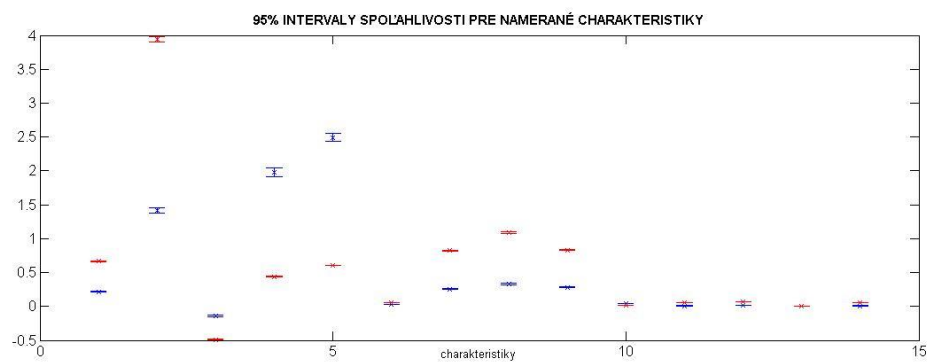
(e)



(f)



(g)



(h)

Obr. 33: Vyhodnotenie intervalov spoľahlivosti prístrojov RCM i Talysurfu: (a) vzorka A, (b) vzorka B, (c) vzorka C, (d) vzorka D, (e) vzorka E, (f) vzorka F, (g) vzorka G, (h) vzorka H.

Tab. 13: Porovnanie korelácie R z regresných priamok skúmaných vzoriek meraných prístrojmi Talysurf a RCM.

	Korelácia všetkých charakteristík	Korelácia po vynechaní 2, 4 a 5 charakteristiky
Vzorka A	0,41971	0,98536
Vzorka B	0,59058	0,94563
Vzorka C	0,66458	0,98631
Vzorka D	0,54824	0,98793
Vzorka E	0,54236	0,9801
Vzorka F	0,4617	0,98593
Vzorka G	0,6593	0,92244
Vzorka H	0,43204	0,99572

8. ZÁVER

Meranie drsnosti povrchu bezkontaktnou metódou otvára nové možnosti klasifikácie vlastností textilných materiálov všeobecne. Bezkontaktná metóda je presnejšia a kvalitnejšia oproti kontaktnej metóde snímania drsnosti povrchu textílií.. Popísané metódy merania bezdotykovým prístrojom RCM, kde vzorku sníma diódové pole i meranie bezdotykovým prístrojom Talysurf, kde vzorku sníma laser umožňujú jednoduché opakovania meraní. Bezkontaktné meranie profilu drsnosti povrchu daného materiálu umožňuje popis variability reliéfu textílie po jednotlivých snímkach – virtuálnych priečných rezoch, ktoré sú spomínané v diplomovej práci.

Algoritmy *drsnostRCM.m*, *drsnostT.m* a *vyhodnoceni.m* softwaru Matlab sú koncipované pre účely vyhodnotenia parametrov textilného povrchu s reliéfom, ktorý je definovaný konštrukciou samotnej textílie. V diplomovej práci sú použité obe vzorky mančestrovej tkaniny, ako dôležitého zástupcu textílií s reliéfnym povrchom.

Prístroje RCM a Talysurf sú prístroje na širokospektrálne meranie reliéfu. Pri správnej metodike sa tieto prístroje považujú za efektívne nástroje pri posudzovaní drsnosti povrchu textílií, ale i pre ďalšie parametre, napríklad vyhodnocovanie parametrov žmolkovitosti, chlpatosti, pravidelnosti väzby pre tkané ako aj pre pletené plošné textílie. Prístroje majú však i svoje limity, ktoré súvisia s technickou úrovňou v oblasti výpočetnej techniky, optiky i elektrotechniky. Vo fáze merania konkrétnych profilov je

nutné dbať na elimináciu okolných svetelných zdrojov osvetlenia v prípade merania prístrojom RCM, v prípade prístroja Talysurf je nutnosťou nedotýkať sa prístroja vo fáze merania a zabezpečiť minimalizáciu mechanického chvenia v okolí prístroja.

Dôležitým aspektom je náročnosť na výkonnosť výpočetnej techniky, kde obrazová analýza a prevedenie algoritmu výpočtu definovaných charakteristík drsnosti povrchu pojme v závislosti konkrétneho merania časovo až niekoľko hodín, u charakteristík z prístroja Talysurf sa jedná až o 1500 obrazových matic jedného merania.

Pri porovnaní oboch prístrojov navzájom jednoznačne prevláda prístroj Talysurf. Prístroj Talysurf je novší prístroj, bezkontaktné meranie drsnosti povrchu laserom je z hľadiska pohodlnosti jednoduchšie. Z výsledkov meraní v experimentálnej časti tejto diplomovej práce vyplýva, že meranie prístrojom Talysurf je oveľa presnejšie ako meranie prístrojom RCM i keď u oboch prístrojov je dôležité správne nastavenie parametrov snímania ako je napríklad neoptimálnejšie rozlíšenie pre každé špecifické meranie. Laser presnejšie kopíruje povrch skúmanej vzorky textilu ako diódové pole, preto sú výsledky meraní drsnosti povrchu rozdielne a vyhodnotenia charakteristík u oboch prístrojov neporovnateľné. Pri úpravách snímaného obrazu sa stráca mnoho informácií, daná skutočnosť sa dá spozorovať i na obrázkoch (obr. 14 - 22.2), kde odhadnutý profil nekopíruje do detailov skutočný profil a tak vznikajú nepresné výstupné obrazy. Pre precíznejšie merania, čo dokazujú výsledky tejto diplomovej práce, sa odporúča na meranie drsnosti povrchu textílií používať prístroj Talysurf, pretože meranie pomocou laseru sa ukazuje ako presnejšie v porovnaní s prístrojom RCM, kde sa na meranie používa diódové pole u ktorého je veľmi dôležité nastaviť odpovedajúce nasvietenie.

Seznam použité literatury

- [1] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. Praha : SNTL, 1989.
- [2] MILITKÝ, J.; BAJZÍK, V. Surface roughness of heat protective clothing textiles. *International journal of clothing science and technology*. 2003, no.3/4, Vol.15, s. 258 - 267.
- [3] SELIGOVÁ, M. *Porovnání metod měření drsnosti textilií*. 2004. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [4] XIN , Binjie; HU, Jinlian; BACIU, George. Visualisation of textile surface roughness based on silhouette image analysis. *Textile Research Journal*. 2010, Vol. 80, s. 166 - 176.
- [5] MILITKÝ, M.; MAZAL, M. Image analysis method of surface roughness evaluation. *International journal of clothing science and technology*. 2007, No. 3/4, Vol. 19, s. 186 - 193.
- [6] AJAYI, J. O. An Attachment to the constant rate of elongation tester for estimating surface irregularities of fabric. *Textile Research Journal*. 1994, Vol. 64, s. 475 - 479.
- [7] AJAYI, J. O. Fabric smoothness, friction and handle. *Textile Research Journal*. 1992, Vol. 62, s. 52 - 59.
- [8] RAMGULAM, R. B.; AMIRBAYAT, J; PORAT, I. Measurement of fabric roughness by a non-contact method. *Journal of textile institute*. 1993, Vol. 84, s. 99 - 106.
- [9] BRZEZINA, M.; MILITKÝ, J. *Complex characterization of textile surface roughness*, Technical university of Liberec, Dept. of Applied mathematics, Dept. of textile materials, 2002
- [10] KAWABATA, S. The standardization and analysis of hand evaluation, *Text. Mach. Soc.*, Japan, 1980
- [11] Úspěšná aplikace měřicího systému. *MM Průmyslové spektrum*. 2006, 1, s. 32. Dostupný také z WWW: <www.mmspektrum.com>.
- [12] [Http://www.taylor-hobson.com/](http://www.taylor-hobson.com/) [online]. c2011 [cit. 2011-04-08]. Wwww.taylor-hobson.com. Dostupné z WWW: <www.taylor-hobson.com>.
- [13] City University of Hong Kong, Talysurf, October 2002

- [14] KANG, T. J., CHO, D. H., KIM, S. M. New objective evaluation of fabric smoothness appearance. *Textile Research Journal*. 2001, Vol. 71 (5), s. 446 - 453.
- [15] BUENO, M. A., ; DURAND, B.; RENNER, M. A non-contact measurement of the roughness of textile fabrics. *Experimental Techniques*. 2000, 24, s. 23 - 27.
- [16] MOTYČKOVÁ, K. *Vliv vzhledu a omaku na prodejnost textilií*. 2010. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [17] BLEŠA, M. *Kompexní hodnocení povrchové struktury textilií*. 2009. Doktorská dizertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [18] PARK, K. H.; KWON, Y.H. ; OH, K.W. The Surface Roughness Measurement for Textiles Fabrics by a Non-Contact Method for Tactile Perception. In . College of Advanced Technology, Kyung Hee University, Korea. 2010.
- [19] MILITKÝ, J.; BLEŠA, M. Evaluation of patterned fabric surface roughness. *Indian journal of fibre and textile research* . 2008, Vol. 33, s. 246 - 252.

Zoznam príloh

Príloha č.1

Skript algoritmu *reliefman.m*

Príloha č.2

Skript algoritmu *drsnostRCM.m*

Príloha č.3

Skript algoritmu *drsnostT.m*

Príloha č.4

Skript algoritmu *vyhodnoceni.m*